NIELS BOHR

ATOMIC PHYSICS AND HUMAN KNOWLEDGE

Copyright © 1958 by Niels Bohr, New York. John Wiley & Sons. Inc

Fizica atomică Şi cunoaşterea umană

NIELS BOHR

Cu un *Cuvînt înainte* de: prof. dr. docent **RADU ŢIŢEICA**

<30

Bveur.,tl 1M? EDITURA ŞTIINŢIFICA

In românește de M. SABAU ți S.

Cuvînt înainte

Primele lucrări ale fizicianului danez Niels Bohr, apărute în anul 1913, au revoluţionat ideile asupra structurii atomului şi asupra procesului emisiei de radiaţii de către atomii excitaţi în urma primirii de energie datorită unei cauze exterioare. Folosind concepţia lui Rutherford, conform căreia un atom este alcătuit dintr-un nucleu încărcat cu o sarcină electrică pozitivă, în jurul căreia se rotesc electroni încărcaţi negativ, precum şi ideile lui Planck asupra emisiei şi absorbţiei de radiaţii prin pachete discrete numite cuante de radiaţie, Bohr pe de o parte a arătat că electronii atomici nu pot descrie orice orbită în jurul nucleului, iar pe de altă parte a regăsit regula de distribuţie a liniilor spectrale în spectrul hidrogenului, care alcătuiesc un ansamblu numit seria Balmer. în lucrările sale, Bohr a folosit legile cunoscute ale mecanicii newtoniene şi ale electromagnetismului clasic, pe care le-a îngrădit impunîndu-le anumite condiţii, numite condiţii de cuantificare. Pe drumul deschis de Bohr şi generalizînd ipotezele şi metodele sale de lucru, în anii imediat următori, o serie de fizicieni, între care merită, în primul rînd, să fie menţionat Sommerfeld, au pus bazele unui capitol al fizicii teoretice, numit, azi, mecanica cuantică veche.

încă de la început, principala direcţie în care poate fi criticată mecanica cuantică veche, a fost caracterul ei mixt, faptul că peste relaţii şi legi

care aparţin mecanicii clasice, eventual chiar mecanicii relativităţii restrînse, se aplică condiţii de cuantificare, cu totul străine concepţiilor mecanicii, fără ca aceste condiţii să aibă altă justificare decît aceea de a conduce la rezultate verificabile experimental. De asemenea, însăşi concepţia iniţială a lui Planck, precizată de Einstein şi folosită de Bohr, privind valoarea energiei care corespunde unei cuante de radiaţie, conţine o contradicţie internă. Conform acestei concepţii, radiaţia se propagă sub formă de corpuscule, cuantele, dar energia transportată de o cuantă este $E = h$ v, v fiind frecvenţa radiaţiei. Noţiunea de cuantă de radiaţie apare astfel, mixtă, corpuscular-ondulatorie. Mecanica cuantică veche are un caracter eterogen, neînchegat logic.

Această situaţie s-a schimbat în urma introducerii, de către de Broglie, în 1924, a ideii aspectului dublu, corpus- cular şi ondulatoriu, al obiectelor la scara atomică. Fundamentul teoriei lui de Broglie l-au constituit două principii variaţionale, formal echivalente. Unul, principiul minimei acţiuni din mecanică, determină traiectoria descrisă de un mobil între două poziţii ca fiind aceea în lungul căreia o mărime numită acţiune, legată de energia mobilului, este minimă. Celălalt, principiul lui Fermat din optică, determină drumul urmat de lumină între două puncte, ca fiind acela care este parcurs în timpul minim. în teoria ondulatorie a luminii, principiul lui Fermat apare ca o primă aproximaţie, valabilă în măsura în care nu joacă vreun rol fenomenele de interferenţă şi de difracţie, deci în cazul opticii geometrice. Exploatînd paralelismul care există între legile mecanicii clasice şi cele ale opticii geometrice, în formularea variaţională, şi aplicînd-o în cazul microobiectelor, de Broglie a arătat că un corp de dimensiuni atomice, un microobiect, se prezintă fie ca un cor- puscul care urmează principiul minimei acţiuni, fie ca un pachet de unde pentru care sînt valabile legile opticii. Studiul evoluţiei microobiectului, în aproximaţia

analogă opticii geometrice, se face după legile mecanicii clasice, însă o tratare corectă a evoluţiei microobiectelor nu se poate face decît ţinînd seama de aspectul ondulatoriu.

Folosind concepţia introdusă de către de Broglie, s-a dezvoltat o nouă formă a mecanicii cuantice care, apoi, s-a extins, înglobînd şi ideile relativiste, şi şi-a lărgit domeniul de aplicaţii. Fundamentele mecanicii cuantice noi, începînd din jurul anului 1926, au fost puse în primul rînd de către Schrodinger, Born şi Heisenberg, Dirac şi alţii. în forma sa ondulatorie, această mecanică urmăreşte evoluţia unui microobiect prin intermediul unei ecuaţii cu derivate parţiale. Un prim pas înainte, realizat pe această cale, este acela care reprezintă introducerea logică a condiţiilor de cuantificare. Acestea sînt condiţiile care trebuie impuse unor parametri din ecuaţie pentru ca funcţia a cărei variaţie este descrisă de ecuaţia respectivă, să poată avea un sens fizic. Această funcţie, numită funcţie de undă, este legată de probabilitatea prezenţei, într-un anumit loc şi într-un anumit moment, a microobiectului cercetat. Mecanica cuantică nouă conduce, deci, la concluzia neaşteptată că din condiţii iniţiale determinate nu rezultă o poziţie certă, la un moment dat, pentru micro- obiectul urmărit, ci că acesta are numai o probabilitate, mai mare sau mai mică, de a se găsi într-un anumit punct.

Această concluzie atrage după sine renunţarea la un determinism riguros în urmărirea evoluţiei microobiecte- lor, acestei evoluţii neputîndu-i fi aplicat decît un determinism statistic.

Un alt rezultat al mecanicii cuantice noi a fost acela cristalizat sub forma principiului impreciziei. Unui microobiect îi pot fi ataşate mărimi (coordonatele poziţiei momentane, viteza, energia etc.) ale căror valori, care variază în cursul evoluţiei microobiectului, nu sînt determinate decît statistic, împrăştierile statistice respective satis- făcînd anumite relaţii, numite relaţii de imprecizie ; de exemplu, produsul împrăştierilor

statistice ale valorilor coordonatei de poziţie şi vitezei este mai mare decît o anumită valoare, legată de constanta *h* (numită cuantă de acţiune) din formula lui Planck care exprimă energia transportată de o cuantă de radiaţie.

Aspectul dublu, corpuscular şi ondulatoriu, al unui microobiect conduce şi la faptul că microobiectele se manifestă diferit după condiţiile în care sînt puse.

Toate aceste consecinţe pun probleme filozofice foarte complicate şi importante şi au condus la luare de atitudini, din partea diferitelor şcoli de fizică teoretică, care păreau, la un moment dat, ireconciliabile. Fără ca deosebirile de puncte de vedere să fi dispărut cu totul, este interesant de semnalat că adeseori contradicţia s-a datorat mai de grabă unei neînţelegeri decît unei opoziţii principiale. în primul rînd, a apărut repede imposibilitatea, în mecanica cuantică, a unei reprezentări prin imagini, adică imposibilitatea folosirii unor modele. în al doilea rînd, şi Bohr atrage adeseori atenţia asupra acestui lucru, controversele au fost datorite faptului că limbajul obişnuit este neadecvat pentru descrierea fenomenelor la scara cuantică. Astfel, el scrie (p. 84) : „Eu am reamintit... cu fermitate, însemnătatea unei atenţii deosebite în privinţa tuturor problemelor de terminologie şi dialectică“ şi, mai departe : „în legătură cu aceasta, am luptat, în special, contra unor fraze, care se găsesc adesea în literatura de fizică, de tipul «perturbarea fenomenelor prin observare» sau «crearea de atribute fizice la obiectele atomice prin măsurători». Astfel de fraze, ce pot servi pentru a reaminti paradoxurile aparente din teoria cuantică, sînt în acelaşi timp capabile să producă confuzii, deoarece cuvinte de tipul «fenomene» şi «observaţii» ca şi «atribute şi măsurători» sînt folosite într-un sens compatibil numai cu limbajul obişnuit şi cu definiţia curentă “

Chiar conştienţi de posibilităţile de neînţelegere externe conţinutului adînc al noţiunilor din fizica

cuantică, fizicienii totuşi, nu au ajuns la un punct de vedere unitar. De altfel, într-unul din capitolele cele mai interesante ale lucrării de faţă, „Convorbiri cu Einstein asupra problemelor epistemologice din fizica atomică[14], pot fi urmărite modificările de concepţie atît în urma descoperirii unor fapte noi şi a aprofundării metodelor de investigaţie, cît şi în urma schimbului de idei. Evoluţia ideilor în acest domeniu al fizicii este deosebit de interesantă şi, în capitolele succesive, se urmăreşte luarea de poziţie de către Bohr. Deseori, în descrierea diferitelor posibilităţi de interpretare a rezultatelor fizicii cuantice, se discută atitudinea luată de Şcoala de la Copenhaga, condusă de Bohr, în special în problema determinismului. Această atitudine apare, de exemplu, în următorul fragment (p. 97) : „Faptul că, în general, unul şi acelaşi aranjament experimental poate da rezultate diferite este uneori plastic exprimat ca fiind «alegerea făcută de natură» între aceste posibilităţi“ ; şi, mai departe : „Aici deducţiile logice nu permit mai mult decît obţinerea probabilităţilor relative de apariţie a fenomenelor individuale în anumite condiţii experimentale date.
Mecanica cuantică apare astfel ca o generalizare consistentă a modului de descriere mecanic-determinist pe care îl conţine ca o limită asimptotică în cazul fenomenelor fizice care au loc la o scară destul de mare pentru a putea neglija cuanta de acţiune".

S-a reproşat lui Bohr de a fi negat determinismul. Atitudinea lui şi mai ales schimbările suferite rezultă foarte bine din convorbirile cu Einstein.

Citirea lucrării de faţă conduce la impresia că, deşi atitudinile, din punctul de vedere filozofic, ale diferitelor şcoli de fizică au fost, la un moment dat, diferite, discuţiile purtate în trecut şi care continuă încă, vor duce la stabilirea adevărului.

Lărgind domeniul preocupărilor, Bohr, în alte conferinţe cuprinse în cartea de faţă, încearcă să

extindă concluziile obţinute în studiul fizicii atomice altor domenii de activitate umană, pînă la biologie şi psihologie. în această privinţă, este interesant de citat următorul fragment în care sînt precizate părerile sale (p. 118) : „Lecţia epistemologică pe care ne-a dat-o fizica atomică — asemănătoare cu situaţii întîlnite mai înainte în dezvoltarea fizicii — ne obligă la reconsiderarea utilizării mijloacelor noastre de comunicare pentru o descriere obiectivă în alte domenii ale cunoaşterii". Şi, mai departe : „Dacă era posibil într-o oarecare măsură ca în cadrul fizicii clasice să comparăm organismele cu maşini, era totuşi evident că astfel de comparaţii nu pot să ţină seama de multe dintre caracteristicile vieţii. Insuficienţa concepţiei mecaniciste a- supra naturii în descrierea poziţiei omului este deosebit de evidentă în dificultăţile legate de distincţia primitivă dintre suflet şi corp".

Oricare ar fi, şi în această direcţie, părerile lui Bohr şi oricît s-ar putea discuta asupra lor, personalitatea lui este o chezăşie că aceste discuţii vor fi utile.

Prof. dr. docent
RADU ŢIŢEICA

Prefaţă

Această culegere de articole, scrise cu diferite ocazii în ultimii 25 de ani, formează o continuare la alte articole, mai vechi,publicate de Editura Universităţii din Cambridge, în 1934, într-un volum cu titlul *Teoria Atomică şi Descrierea Naturii.* Subiectul articolelor îl constituie învăţămintele epistemologice care pot fi trase din dezvoltarea fizicii atomice şi modul în care aceasta a elaborat o metodă de analiză şi sinteză folosită azi în multe domenii ale cunoaşerii umane. Articolele din ediţia precedentă au fost scrise într-un moment în care mecanica cuantică crease deja fundamentele pentru o tratare consistentă a fenomenelor atomice şi condiţiile pentru tratarea neechivocă a experienţei în acest cadru erau caracterizate de noţiunea de complementaritate. în articolele strînse în această carte se urmăreşte aceeaşi linie, însă cu o mai largă aplicare. Desigur, repetările au fost inevitabile, dar sperăm că a- ceasta ar putea să servească la clarificarea gradată a argumentaţiei, în special în ceea ce priveşte o terminologie mai concisă.

în dezvoltarea acestor idei, au fost foarte preţioase pentru mine discuţiile cu colaboratori mai noi sau mai vechi ai Institutului de Fizică Teoretică al Universităţii din Copenhaga. Aduc pe această cale mulţumiri pentru ajutorul dat în elaborarea acestor articole lui Oskar Klein şi Leon

Rosenfeld, care acum se află la Universităţile din Stockholm şi Manchester, ca şi lui Ştefan Rozental şi Aage Petersen de la Institutul din Copenhaga. Doresc de

asemenea să exprim mulţumiri doamnei S. Hellmann pentru ajutorul său efectiv în pregătirea articolelor şi a ediţiei de faţă.

NIELS BOHR

Copenhaga
August 1957

Introducere

Importanţa fizicii în dezvoltarea gîndirii filozofice generale constă nu numai în contribuţiile sale la creşterea atît de rapidă a cunoştinţelor noastre despre natura din care şi noi facem parte, dar şi prin ocaziile pe care din oînd în cînd le oferă pentru examinarea şi rafinarea instrumentelor noastre de investigaţie. în secolul nostru, studiul structurii atomice a materiei a pus în evidenţă o limitare cu totul neaşteptată a noţiunilor din fizica clasică şi a aruncat o lumină nouă asupra necesităţilor explicaţiei ştiinţifice în cadrul filozofiei tradiţionale. Revizuirea modului în care se face aplicarea noţiunilor noastre elementare, absolut necesară pentru înţelegerea fenomenelor atomice, are deci efecte ce depăşesc domeniul special al fizicii.

Partea principală a lecţiei oferite de dezvoltarea fizicii atomice este, după cum se ştie, recunoaşterea unui aspect de completitudine în procesele atomice, pus în evidenţă de descoperirea cuantei de acţiune. Articolele din această carte prezintă aspectele esenţiale din fizica cuantică şi, în acelaşi timp, subliniază asemănările pe care le prezintă pentru poziţia noastră în alte domenii ale cunoaşterii, dincolo de concepţiile mecaniciste asupra naturii. Nu vom avea de a face aici cu analogii mai mult sau mai puţin vagi, ci cu o investigare a condiţiilor de folosire a mijloacelor noastre de expresie. Astfel

de consideraţii nu numai că ne familiarizează cu o situaţie nouă în fizică, ci ar putea, pe baza caracterului relativ simplu al problemelor din fizica atomică, să fie folositoare în clarificarea condiţiilor pentru o descriere obiectivă în domenii mai largi.

Deşi cele şapte eseuri înmănuncheate în carte sînt înrudite ca temă, ele se împart în trei grupe separate după cum au fost scrise în anii 1932—1938, 1949 şi respectiv, 1954—1957. Primele trei articole discută problemele biologice şi antropologice care se referă la aspectul complementar al complementarităţii prezentat de organismele vii şi culturile umane. Nu se încearcă, desigur, să se facă o tratare exhaustivă a acestor probleme, ci numai se indică modul în care ele prezintă analogii cu concluziile generale ale fizicii atomice.

Cel de al patrulea articol se ocupă cu discuţiile dintre fizicieni în legătură cu problemele epistemologice ridicate de fizica cuantică. Datorită specificului problemei, au fost inevitabile anumite referiri la instrumentul matematic, dar înţelegerea argumentelor nu necesită cunoştinţe speciale. Dezbaterea a condus la o clarificare a noilor aspecte ale problemei observaţiei, implicate de faptul că interacţiunea dintre obiectele atomice şi instrumentele de măsură formează o parte integrantă a fenomenelor cuantice. De aceea, informaţiile căpătate cu ajutorul diferitelor aranjamente experimentale nu pot fi înţelese pe căile obişnuite. Necesitatea de a lua în considerare condiţiile în care s-a efectuat experienţa cere neapărat modul de descriere complementar.

Ultimul grup de articole este strîns legat de primul, dar sperăm că terminologia îmbunătăţită folosită pentru prezentarea situaţiei în fizica

cuantică a făcut mult mai accesibilă argumentarea generală. în aplicarea ei la problemele cu scop mai larg, se accentuează în mod special necesitatea folosirii neechivoce a noţiunilor care descriu experienţa. Miezul argumentării este că pentru o descriere obiectivă şi o înţelegere armonioasă aproape în orice domeniu al cunoaşterii este necesar să acordăm atenţie împrejurărilor în care s-a obţinut informaţia respectivă.

Lumina şi viaţa

1932

Ca fizician, ale cărui studii sînt limitate la proprietăţile corpurilor neînsufleţite, am avut oarecari ezitări înainte de a accepta amabila invitaţie de a mă adresa acestei adunări de oameni de ştiinţă, întruniţi aici pentru a lua cunoştinţă de efectele binefăcătoare ale luminii în tratarea bolilor. Deoarece sînt incapabil de a contribui la această frumoasă ramură a ştiinţei care este atît de importantă pentru bunăstarea omenirii, m-aş rezuma numai la fenomenele luminoase pur anorganice, care au exercitat o atracţie deosebită asupra fizicianului de-a lungul veacurilor, mai ales prin faptul că lumina este principalul nostru instrument de observaţie. în ciuda subtilităţilor pe care enigmele vieţii le prezintă, esenţa explicaţiei ştiinţifice, în orice stadiu al ştiinţei, constă în analiza fenomenelor mai complexe cu ajutorul altora mai simple. în momentul de faţă, limitarea esenţială a posibilităţilor de descriere mecanicistă a fenomenelor naturale, pusă în evidenţă de

ultimele descoperiri ale teoriei atomice, este aceea care a pus într-o lumină nouă o problemă vedhe. A- ceastă cotitură în fizică îşi are originea într-un studiu mai atent al interacţiunii dintre lumină şi corpurile materiale, interacţiune ce prezintă aspecte care contrazic anumite cerinţe considerate pînă acum indispensabile într-o argumentaţie de fizică. După cum voi încerca să arăt, eforturile fizicienilor de a ieşi din această situaţie seamănă într-un anumit fel cu atitudinea faţă de aspectele vieţii, luată întotdeauna mai mult sau mai puţin intuitiv de către biologi. Vreau să subliniez din capul locului că numai din acest punct de vedere formal, lumina, care este pro-

babil cel mai puţin complex dintre toate fenomenele fizice, are o analogie cu viaţa, care prezintă o diversitate pînă dincolo de puterea de analiză ştiinţifică.

Din punct de vedere fizic, lumina poate fi privită ca transmitere de energie între corpuri materiale la distanţă. După cum se ştie, aceste efecte îşi găsesc o explicaţie simplă în teoria electromagnetică, care poate fi privită ca o extindere raţională a mecanicii clasice, astfel întocmită încît să atenueze contrastul dintre acţiunea la distanţă şi cea prin contact. Conform acestei teorii, lumina este considerată ca o serie de oscilaţii electrice şi magnetice cuplate, diferînd de undele electromagnetice ale transmisiilor radiofonice obişnuite numai printr-o frecvenţă de vibraţie mai mare şi, deci, o lungime de undă mai mică. De fapt, propagarea practic rectilinie a luminii, pe care se bazează ilocalizarea corpurilor prin vizare directă, sau prin instrumente optice obişnuite, depinde în întregime de micimea lungimii de undă în comparaţie cu dimensiunile corpurilor şi ale instrumentelor respective. în acelaşi timp, caracterul ondulatoriu al propagării luminii, nu numai că formează baza pentru explicarea culorilor, care prin spectroscopie duc la informaţii preţioase asupra structurii corpurilor, dar este esenţială pentru orice analiză rafinată a fenomenelor optice. Ca un exemplu tipic aş putea menţiona franjele de interferenţă care apar a- tunci cînd lumina unei surse ajunge la un ecran pe două căi diferite. Găsim că efectele care se produc prin suprapunerea a două fascicule separate de lumină se intensifică în acele puncte ale ecranului în care fazele celor două trenuri de unde coincid, adică acolo unde oscilaţiile electrice şi magnetice în cele două fascicule au acelaşi sens, în timp ce efectele sînt slăbite şi chiar pot să dispară în punctele în care oscilaţiile au sensuri contrare şi unde se spune că trenurile de unde sînt în discordanţă de fază. Aceste franje de interferenţă sînt o probă atît

de convingătoare a aspectului ondulatoriu al propagării luminii, încît această imagine nu poate fi considerată pur şi simplu o ipoteză, în sensul obişnuit al cuvîntului, ci poate fi privită mai degrabă ca un aspect real al fenomenelor observate.

După cum ştiţi, problema naturii luminii a fost supusă unor noi discuţii în ultimii ani, pe baza descoperirii aspectului fundamental al atomicităţii în mecanismul transmiterii energiei, care este cu totul de neînţeles din punctul de vedere al teoriei electromagnetice. Orice transfer de energie prin lumină poate fi redus la procese individuale în care se schimbă o aşa-numită cuantă de lumină, a cărei energie este egală cu produsul dintre frecvenţa oscilaţiilor electromagnetice şi cuanta de acţiune universală, sau, cum mai este numită, constanta lui Planck. Contrastul evident dintre atomicitatea efectului luminos şi continuitatea transferului de energie în teoria electromagnetică ne pune faţă în faţă cu o dilemă al cărei caracter este pînă acum necunoscut în fizică. Astfel, în ciuda insuficienţei ei, nici nu se poate pune problema înlocuirii imaginii ondulatorii a propagării luminii cu o altă imagine bazată numai pe consideraţii mecanice obişnuite. Trebuie subliniat, îndeosebi, că cuantele de lumină nu pot fi privite ca particule la care să se ataşeze traiectorii în sensul mecanicii clasice. După cum figura de interferenţă dispare complet atunci cînd, încercînd să ne convingem că energia luminoasă se propagă numai de-a lungul uneia din cele două parcursuri între sursă şi ecran, am opri unul din fascicule cu un corp opac, tot aşa este imposibil în orice fenomen pentru care structura ondulatorie a luminii este esenţială, să trasăm parcursul unei cuante individuale, fără să perturbăm fenomenul cercetat. într-adevăr, continuitatea spaţială a imaginii noastre asupra propagării luminii şi atomicitatea efectelor luminoase sînt aspecte complementare, în sensul că ele descriu comportări egal de importante ale fenomenelor luminoase, care nu pot fi aduse

niciodată în contradicţie una cu alta, deoarece analiza lor mai atentă din punct de vedere mecanic necesită aranjamente experimentale reciproc exclusive. în a- celaşi timp, însăşi această situaţie ne forţează să renunţăm la o descriere riguroasă a fenomenelor luminoase şi să ne mulţumim cu legi probabilistice bazate pe faptul că descrierea electromagnetică a transferului de energie rămîne valabilă într-un sens statistic. Aceasta formează o aplicare tipică a aşa-numitului principiu de corespondenţă, care exprimă încercarea de a utiliza cu maximă generalizare concepţiile teoriilor clasice ale mecanicii şi electrodinami- cii, în ciuda constrastului dintre aceste teorii şi cuanta de acţiune.

Această situaţie poate părea foarte incomodă la început, dar, aşa cum s-a întîmplat adesea în ştiinţă, cînd noile descoperiri au dus la recunoaşterea unor limitări e- senţiale a noţiunilor pînă atunci considerate ca indispensabile, sîntem răsplătiţi prin faptul că obţinem o vedere mai largă şi o putere mai mare de a corela fenomenele care pînă atunci ar fi putut părea contradictorii. într-adevăr, limitarea mecanicii clasice simbolizată prin cuanta de acţiune ne-a oferit o cheie pentru înţelegerea stabilităţii intrinseci a atomilor, pe care se bazează descrierea mecanică a fenomenelor naturale. Aspectul fundamental al teoriei atomice a constat întotdeauna în faptul că indivizibilitatea atomilor nu poate fi înţeleasă mecanic şi a ceastă situaţie a rămas practic neschimbată chiar după ce indivizibilitatea atomilor a fost înlocuită cu cea a particulelor elementare încărcate electric, adică electronii şi protonii, din care sînt construiţi atomii şi moleculele. Mă refer acum nu la problema stabilităţii intrinseci a acestor particule elementare, ci la aceea a structurilor atomice compuse din ele. Dacă atacăm această problemă din punctul de vedere al mecanicii sau al teoriei electromagnetice, nu găsim o bază suficientă pentru explicarea proprietăţilor specifice ale elementelor şi nici chiar a existenţei corpurilor

solide, folosite în toate măsurătorile pentru localizarea fenomenelor în spaţiu şi timp. Aceste dificultăţi sînt acum depăşite prin recunoaşterea că orice schimbare bine definită a unui atom este un proces individual, con- stînd dintr-o tranziţie completă a atomului dintr-una din aşa-numitele sale stări staţionare, în alta. Mai mult decît atît, deoarece într-o asemenea tranziţie, prin care lumina este emisă sau absorbită de atom, se schimbă numai o cuantă de lumină, sîntem capabili ca prin observaţii spectro- scopice să măsurăm direct energia fiecăreia din aceste stări staţionare. Informaţiile astfel obţinute au fost foarte bine corelate cu studiul schimbărilor de energie, care au loc în ciocnirile atomice şi în reacţiile chimice.

în ultimii ani a avut ioc o dezvoltare remarcabilă a mecanicii atomice pe baza principiului de corespondenţă, care ne-a înzestrat cu metode eficace pentru calculul energiilor stărilor staţionare în atomi şi a probabilităţilor proceselor de tranziţie. Aceasta face ca explicaţia noastră asupra proprietăţilor atomice să fie la fel de cuprinzătoare ca şi coordonarea unei experienţe astronomice în mecanica newtoniană. în ciuda complexităţii mai mari a problemelor generale ale mecanicii atomice, învăţămintele trase din analiza celor mai simple efecte luminoase au fost deosebit de importante pentru această dezvoltare. Astfel, folosirea neechivocă a noţiunii de stare staţionară se află în complementaritate cu analiza mecanică a mişcării in- traatomice, similară cu complementaritatea dintre cuantele de lumină şi teoria electromagnetică a radiaţiei. într- adevăr, orice încercare de a urmări desfăşurarea detaliată a unui proces de tranziţie ar implica un schimb necontrolabil de energie între atom şi instrumentele de măsură, schimb care tulbură însuşi bilanţul de energie pe care ne propunem să-

1 cercetăm. Corelarea mecanică cauzală a datelor din experienţă poate fi realizată numai în cazul în care acţiunea ce intră în joc este mare în

comparaţie cu cuanta elementară şi cînd este posibilă astfel subdivizarea fenomenelor. Dacă această condiţie nu este satisfăcută, acţiunea aparatelor de măsură asupra fenomenului de cercetat nu poate fi neglijată şi va implica o excludere reciprocă a diferitelor tipuri de informaţii necesare pentru o descriere mecanică completă de tip clasic. Această incompletitudine aparentă a analizei mecanice a fenomenelor atomice, decurge în ultimă instanţă din ignorarea interacţiunii dintre obiect şi aparatele de măsură, inevitabilă în orice experiment. Aşa cum noţiunea generală de relativitate exprimă dependenţa esenţială a oricărui fenomen de sistemul de referinţă folosit pentru determinarea lui în timp şi în spaţiu, noţiunea de complementaritate serveşte la limitarea fundamentală cu care avem de-a face în fizica atomică — existenţa obiectivă a fenomenelor, independent de mijloacele de observaţie.

Această revizuire a fundamentelor mecanicii, afectînd însăşi explicarea fizică, este importantă nu numai pentru aprecierea situaţiei în teoria atomică, dar creează de asemenea o nouă bază de discuţie asupra problemelor vieţii în contactul lor cu fizica. Aceasta nu înseamnă că în fizica atomică întîlnim aspecte care să prezinte asemănări cu organismele vii mai evidente ca în fizica clasică. La prima vedere, caracterul statistic al mecanicii atomice pare să fie în contradicţie cu organizarea rafinată şi minunată a fiinţelor vii. Trebuie, însă, să ţinem seama că tocmai a- cest mod complementar de descriere face loc unor regularităţi în procesele atomice care sînt străine fizicii, însă foarte importante pentru explicarea comportării organismelor vii şi a proprietăţilor specifice materiei anorganice. Astfel, în asimilarea carbonului de către plante, de care depinde atît de mult şi hrana animalelor, avem de-a face cu un fenomen pentru înţelegerea căruia individualitatea proceselor fotochimice este esenţială. în acelaşi fel, stabi-

litatea nemecanică a structurilor atomice are o influenţă evidentă asupra proprietăţilor unor combinaţii chimice complexe, ca clorofila şi hemoglobina, care joacă un rol fundamental în mecanismul asimilării plantelor şi respiraţiei animalelor. Analogii din experienţa chimică cum ar fi vechea comparaţie dintre foc şi viaţă, nu vor mai da, desigur, o explicaţie satisfăcătoare a organismelor vii, la fel ca şi asemănarea organismelor cu alcătuiri mecanice de tipul unui mecanism de ceasornic. într-adevăr, caracteristicile esenţiale ale materiei vii trebuie căutate într-o organizare particulară, în care aspectele ce pot fi analizate cu mecanica uzuală sînt întrepătrunse cu aspectele tipic atomiste, într-un mod cu totul diferit de materia neînsufleţită.

O exemplificare instructivă a gradului de dezvoltare a acestei organizări este construcţia şi funcţionarea ochiului, pentru explorarea căruia simplitatea fenomenelor luminoase a fost foarte folositoare. Nu voi intra în detalii, ci doar vă voi aminti cum oftalmologia ne-a relevat proprietăţile ideale ale ochiului omenesc ca instrument optic. Intr-adevăr, limita de rezoluţie la formarea imaginii, impusă de inevitabilele efecte de interferenţă, coincide practic cu dimensiunea acelor fragmente de retină care au legătură nervoasă separată cu creierul. Mai mult decît atît, deoarece absorbţia unei singure cuante de lumină de către fiecare din aceste fragmente retinale este suficientă pentru a crea senzaţia de vedere, se poate spune că sensibilitatea ochiului a atins limitele impuse de caracterul atomic al proceselor luminoase.

Eficacitatea ochiului este în ambele privinţe ca aceea obţinută cu un bun microscop sau telescop conectat cu un amplificator astfel ajustat ca să facă observabile procesele individuale. Este adevărat că putem creşte puterea noastră de observaţie cu asemenea instrumente, dar, datorită limitelor impuse de proprietăţile fundamentale ale feno-

menelor luminoase, nu se poate imagina nici un instrument care să fie mai eficace,, pentru scopurile sale, ca o- chiul. Această sensibilitate ideală a ochiului, confirmată de ultimele descoperiri din fizică, sugerează ideea că şi alte organe, fie că servesc la receptarea informaţiilor din exterior, fie că lucrează sub acţiunea simţurilor, vor prezenta adaptări speciale pentru funcţia pentru care s-au specializat. De asemenea, aspectul individualităţii, simbolizat de cuanta de acţiune este de importanţă decisivă în legătură cu un anumit mecanism de amplificare. Faptul că pînă acum s-a reuşit să se stabilească această limită la ochi şi nu la alte organe se datoreşte simplităţii extreme a fenomenelor luminoase, la care ne-am referit mai sus.

Recunoaşterea importanţei esenţiale a fenomenelor atomice în mecanismul organismelor vii nu este de loc suficientă pentru o explicare cuprinzătoare a fenomenelor biologice. De aceea, problema care se pune este dacă se pierd anumite aspecte fundamentale în analiza fenomenelor naturale, înainte de a ajuta la înţelegerea vieţii pe baza experienţei fizice. în ciuda faptului că fenomenele biologice complexe sînt practic inepuizabile, se poate da greu un răspuns la această întrebare fără o examinare a semnificaţiei ce trebuie dată explicării fizice, care să fie mai profundă decît cea la care ne-a condus descoperirea cuantei de acţiune. Pe de o parte, aspectele interesante oferite de cercetările fiziologice, care diferă atît de net de proprietăţile materiei anorganice, au condus pe biologi la concluzia că nu se poate ajunge la o înţelegere a aspectelor esenţiale ale vieţii în termeni pur fizici. Pe de altă parte, concepţia cunoscută sub numele de vitalism nu poate să dea o formulare neechivocă ideii că o forţă vitală necunoscută fizicii ar guverna toată viaţa organică. Eu cred însă că sîntem cu toţii de acord cu Newton că baza ultimă a ştiinţei este ideea că natura pusă în aceleaşi condiţii va manifesta aceleaşi aspecte. Cred de aceea că dacă

vom fi în stare să împingem analiza organismelor vii pînă la fenomenele atomice, nu putem să ne aşteptăm să găsim aspecte străine materiei anorgarnce. în această dilemă trebuie avut în vedere, însă, că condiţiile din cercetarea biologică şi cea fizică nu sînt direct comparabile, deoarece necesitatea de a menţine obiectul viu sub cercetare impune o restricţie asupra cercetărilor lui fizice. Astfel. dacă încercăm să efectuăm cercetări asupra organelor unui animal în aşa fel încît să putem spune ceva referitor la rolul jucat de atomii singulari în funcţiile sale vitale, înseamnă să distrugem organele respective.

în orice experienţă cu organisme vii rămîne o nedeterminare în ceea ce priveşte condiţiile fizice la care ele sînt supuse, şi această idee sugerează faptul că acel minim de libertate pe care îl permitem organismului în studiu va fi suficient ca să-i permitem să-şi ascundă ultimele secrete fată de noi. Din acest punct de vedere, însăşi existenţa vieţii tiebuie considerată în biologie ca un fapt elementar, aşa cum cuanta de acţiune este considerată în fizica atomică ca un element de bază ce nu poate fi dedus din consideraţiile din mecanica obişnuită. în acest fel, imposibilitatea explicării stabilităţii atomice prin mijloacele clasice prezintă o strînsă analogie cu imposibilitatea explicării fizice sau chimice a funcţiilor particulare caracteristice vieţii.

Făcînd această analogie însă, nu trebuie să scăpăm din vedere că problemele prezintă aspecte diferite în fizica atomică şi în biologie. în timp ce în fizică sîntem interesaţi în comportarea materiei în formele ei cele mai simple, complexitatea sistemelor materiale cu care avem de-a face în biologie, este de natură fundamentală, deoarece chiar cele mai primitive organisme conţin un număr mare de atomi. Este adevărat că întinsul domeniu de aplicare a mecanicii clasice se bazează tocmai pe posibilitatea neglijării complementarităţii în care intră în joc cuanta de acţiune, şi anume în cazurile în care avem de-a

face cu corpuri ce conţin un număr mare de atomi. Deşi aspectele atomiste sînt esenţiale, pentru biologie este însă tipic faptul că nu se verifică niciodată condiţiile exterioare la care a fost supus fiecare atom separat, aşa cum se face în experimentele fundamentale din fizica atomică. De fapt, noi nici nu putem spune care anume atomi aparţin unui organism viu, pentru că orice funcţie vitală este însoţită de un sdhimb de materie în care atomii sînt în mod constant captaţi şi expulzaţi din această organizare care se numeşte fiinţa vie. Intr-adevăr, acest schimb de materie se extinde la toate părţile unui organism viu într-un mod care impedică o separare netă la soara atomului între acele aspecte ale mecanismului care pot fi descrise prin mecanica clasică şi cele pentru care considerarea cuantei de acţiune este decisivă. Această diferenţă fundamentală dintre cercetarea biologică şi cea fizică implică faptul că nu poate fi trasată o limită bine definită de aplicabilitate a ideilor fizice la problemele vieţii, care ar corespunde distincţiei dintre domeniul descrierii cauzale şi cel al fenomenelor cuantice propriu-zise din mecanica atomică. Această limitare aparentă a analogiei îşi are rădăcinile în chiar definiţiile cuvintelor viaţă şi mecanică, care în ultimă instanţă constituie o problemă de comoditate. Pe de o parte, problema unei limitări a fizicii în biologie ar pierde orice semnificaţie dacă, în loc să distingem între organismele vii şi corpurile neînsufleţite, extindem ideea de viaţă la toate fenomenele naturale. Pe de altă parte, dacă, în concordanţă cu limbajul obişnuit, rezervăm cuvîntul mecanică pentru descrierea cauzală neechivocă a fenomenelor naturale, un termen ca mecanica atomică ar deveni fără sens. Nu voi intra mai departe în astfel de probleme terminologice, dar adaug numai că esenţa analogiei, considerată mai sus, este exclusivismul evident dintre unele aspecte tipice ale vieţii ca autoconservarea, şi regenerarea indivizilor, pe de o parte, şi divizarea obiectului, necesară pentru orice analiză fizică, pe

de altă parte. Datorită acestui aspect esenţial de complementaritate, noţiunea de scop care este străină oricărei analize mecanice, găseşte oarecum un cîmp de aplicaţie şi în biologie. în- tr-adevăr, în acest sens argumentarea teleologică poate fi privită ca un aspect legitim al descrierii fiziologice, care se referă la caracteristicile vieţii într-un mod analog cu recunoaşerea cuantei de acţiune în principiul de corespondenţă al fizicii atomice.

în discutarea aplicabilităţii ideilor fizice pure la organismele vii, am tratat desigur viaţa ca pe orice alt fenomen al lumii materiale. Trebuie să subliniem, însă, că a- ceastă atitudine care este caracteristică cercetării biologice nu implică o neglijare a aspectelor psihologice ale vieţii. Din contra, recunoaştrea limitării noţiunilor mecanice în fizica atomică ar părea mai degrabă că vine să concilieze punctele de vedere aparent contradictorii ale fiziologiei şi psihologiei. într-adevăr, necesitatea de a lua în considerare interacţiunea dintre instrumentul de măsură şi o-biectul de cercetat, în mecanica atomică, prezintă o analogie strînsă cu dificultăţile specifice din analiza psihologică, care apar din faptul că conţinutul mintal este invariabil alterat cînd atenţia este concentrată pe oricare aspect special al lui. Ne-ar duce prea departe de subiectul nostru problema de a argumenta pe seama acestei analogii care oferă o clarificare esenţială a paralelismului psiho- fizic. însă aş vrea să menţionez că consideraţiile de tipul menţionat se opun în întregime oricărei încercări de a căuta posibilităţi noi pentru o influenţă spirituală asupra comportării materiei în descrierea statistică a fenomenelor atomice. De exemplu, este imposibil din punctul nostru de vedere să ataşăm o semnificaţie neechivocă ideii că probabilitatea de producere a anumitor procese atomice în corp ar putea fi sub directa influenţă a voinţei. Potrivit cu

interpretarea generalizată a paralelismului psiho-fizic, libertatea voinţei trebuie considerată ca un aspect al vieţii conştiente care corespunde funcţiilor organismului , aceasta nu numai că scapă unei descrieri mecanice cauzale, dar rezistă chiar unei analize fizice efectuate cu extinderea dorită pentru aplicarea neechivocă a legilor statistice ale mecanicii atomice. Fără să intrăm în speculaţii metafizice, aş putea să adaug că o analiză a însăşi noţiunii de explicaţie ar începe şi ar sfîrşi, natural, cu o renunţare la explicarea activităţii noastre conştiente.

în concluzie, nu cred că este nevoie să mai subliniez că observaţiile de mai sus nu au fost făcute cu scopul de a semăna scepticism asupra dezvoltării viitoare a ştiinţelor fizice şi biologice. Un asemenea scepticism ar fi într-ade- văr departe de mintea unui fizician în prezent, cînd însăşi recunoaşterea caracterului limitat al concepţiilor noastre celor mai fundamentale a dus la o dezvoltare remarcabilă a ştiinţei noastre. Nici renunţarea la explicarea vieţii nu a împiedicat progresul extraordinar care a avut loc în toate ramurile biologiei, incluzînd cele care s-au dovedit atît de eficiente pentru arta medicinei. Chiar dacă nu putem face o distincţie fizică netă între sănătate şi boală, nu este în orice caz loc pentru scepticism în domeniul special care formează obiectul acestui congres, atît timp cît nu părăsim calea bătătorită a progresului. Această cale a fost urmată cu deosebit succes încă începînd cu munca de pionier a lui Finsen, a cărui notă caracteristică a fost combinarea cea mai intimă a cercetării efectelor medicale ale terapiei cu radiaţii luminoase cu studiul aspectelor sale fizice.

II

Biologia şi fizica atomica

1937

Opera nemuritoare a lui Galvani, care a inaugurat o epocă nouă în întregul domeniu al ştiinţei, este una dintre cele mai strălucitoare ilustraţii ale folosului extrem pe care îl aduce combinarea intimă a cercetărilor asupra legilor lumii neînsufleţite cu studiul proprietăţilor organismelor vii. De aceea, ar fi bine să trecem în revistă atitudinea pe care oamenii de ştiinţă au luat-o de-a lungul secolelor faţă de problema relaţiei dintre fizică şi biologie şi în special să discutăm perspectiva creată în acest domeniu de extraordinara dezvoltare a teoriei atomice în ultimul timp.

Din cele mai vechi timpuri concepţia atomică a fost în centrul interesului în legătură cu eforturile de a se obţine o viziune cuprinzătoare a marii varietăţi a fenomenelor fizice. Astfel, Democrit, care, cu o intuiţie profundă, a subliniat necesitatea atomismului pentru orice descriere raţională a proprietăţilor obişnuite ale materiei, a încercat, după cum se ştie, să utilizeze de asemenea ideile atomiste pentru explicarea particularităţilor vieţii organice şi chiar a psihologiei omeneşti. Datorită caracterului fantastic al unei concepţii materialiste atît de extreme, a fost naturală reacţia lui Aristotel. Acesta, cu măiestrita înţelegere a cunoştinţelor din timpul său atît din fizică cît şi din biologie, a respins teoria atomică în întregime şi a

încercat să ofere un cadru mai larg pentru descrierea bogăţiei de fenomene naturale pe baza unor idei esenţial teleologice. Exagerările doctrinei aristotelice au fost însă clar puse în evidenţă de recunoaşterea gradată a legilor elementare ale naturii, valabile atît pentru corpuri neînsufleţite cît şi pentru organisme vii.

Dacă ne gîndim la stabilirea principiilor mecanicii, care aveau să devină însăşi baza fizicii, nu este lipsit de interes să amintim că descoperirea de către Arhimede a principiului plutirii corpurilor, care, după cum spune tradiţia, i-a fost sugerată de senzaţia de scădere în greutate a propriului său corp, pe care a simţit-o cînd se afla în baie, s-ar putea baza de asemenea pe experienţa comună existentă privind pierderea în greutate a pietrelor în apă. De asemenea, trebuie privit ca accidental şi faptul că Galilei a ajuns la stabilirea legilor fundamentale ale dinamicii, observînd mişcarea unui pendul în frumoasa catedrală din Pisa şi nu privind Ia un copil care se da în leagăn. Asemenea analogii externe erau, desigur, de mică greutate faţă de aprecierea crescîndă a unităţii esenţiale a principiilor care guvernează fenomenele naturale, în comparaţie cu asemănările adînc înrădăcinate dintre mecanismele vii şi maşinăriile tehnice, puse în evidenţă de studiile anatomice şi fiziologice care erau efectuate intens în timpul Renaşterii, în special aici, în Italia.

Entuziasmul pentru posibilităţile oferite de noul mod experimental, de abordare a filozofiei naturii — încurajat de lărgirea imaginii despre lume, datorită viziunii lui Co- pernic, şi de elucidarea mecanismelor circulaţiei sîngelui în corpul animal, iniţiată de marea descoperire a lui Harvey — a găsit probabil expresia sa cea mai vie în opera lui Borelli, care a reuşit să clarifice în detalii atît de fine funcţia mecanică a scheletului şi a muşchilor la mişcarea animalelor. Caracterul clasic al acestei lucrări nu este umbrit de încercarea lui Borelli şi a

urmaşilor săi de a explica acţiunea nervoasă şi secreţia glandulară cu ajutorul modelelor mecanice primitive, al căror caracter arbitrar şi aproximativ au stîrnit repede critici care au ataşat şcolii lui Borelli în mod ironic numele de „iatro-fizică“. De asemenea, şi slabele încercări de a aplica proceselor fiziologice cunoştinţele din ce în ce mai numeroase privind reacţiile chimice tipice, au găsit un exponent entuziast în Sylvius. Ele au dus rapid la exagerări asupra asemănării superficiale a digestiei şi fermentaţiei cu cele mai simple reacţii anorganice şi aplicarea lor directă în scopuri medicale, în ciuda unei opoziţii care şi-a găsit expresia în categorisirea unor asemenea încercări premature, drept „iatro-chimie“.

Pentru noi sînt azi evidente cauzele lipsurilor acestoi eforturi de pionierat în care s-a folosit fizica şi chimia pentru o explicare cît mai cuprinzătoare a proprietăţilor organismelor vii. Nu numai că a trebuit să se aştepte pînă în epoca lui Lavoisier pentru enunţarea principiilor elementare ale chimiei, care aveau să dea cheia pentru înţelegerea respiraţiei şi, mai tîrziu, să creeze baza pentru extraordinara dezvoltare a chimiei organice, dar, pînă la descoperirile lui Galvani, un întreg aspect fundamental al legilor fizicii, a rămas ascuns. Cred că este foarte sugestiv de amintit că germenii, care în mîinile lui Volta, Oersted, Faraday şi Maxwell aveau să se dezvolte într-o structură ce rivaliza în importanţă cu mecanica lui Newton, au apărut din cercetări cu scopuri biologice. De fapt, este dificil de imaginat că s-ar fi putut realiza progresul de la experienţele simple cu corpuri încărcate electric, oricît de fructuoase erau ele în mîinile lui Franklin, pînă la studiul curenţilor galvanici, dacă instrumentele sensibile pentru detectarea unor astfel de curenţi — mai tîrziu atît de uşor de realizat — nu ar fi fost furnizate de natura însăşi prin ţesutul nervos al animalelor superioare.

Este imposibil să schiţăm aici, chiar numai în general, uriaşa dezvoltare a fizicii şi chimiei din

zilele lui Galvani, sau să enumerăm toate descoperirile din ultimul secol în toate domeniile biologiei. Trebuie, totuşi, să menţionăm evoluţia de la lucrările de pionierat din însăşi această, respectabilă universitate, ale lui Malpighi şi Spallanzam, la embriologia modernă şi, respectiv, bacterologie, sau de la experienţele lui Galvani însuşi la cercetările recente şi fascinante asupra impulsurilor nervoase. în ciuda obţi nerii unei înţelegeri mai largi asupra aspectelor fizice şt chimice ale multor reacţii tipic biologice, fineţea extraordinară a structurii organismelor şi bogăţia de mecanisme de reglare interconectate merg încă mult dincolo de orice experienţă asupra naturii neînsufleţite încît noi ne simţim mai departe ca oricînd de o explicaţie fizico-chi- mică a vieţii. întradevăr, cînd sîntem martorii pasionan- teloi controverse ştiinţifice privitoare la unele probleme legate de descoperirile recente ale efectelor de otrăvire şi ■de proprietăţile regenerative ale aşanumitului virus, ne găsim în faţa unei dileme la fel de acute ca aceea cu care au avut de-a face Democrit şi Aristotel.

în această situaţie, atenţia se concentrează din nou asupra teoriei atomice, deşi pe un fond cu totul diferit. Nu numai că această teorie a fost aplicată cu un succes decisiv, începînd cu Dalton, la elucidarea legilor cantitative care guvernează obţinerea compuşilor chimici, devenind o bază indispensabilă şi un ghid fără greş al tuturor argumentărilor din chimie, dar rafinarea excepţională a tehnicilor experimentale în fizică ne-a dat totodată mijloacele de a studia fenomenele care depind direct de acţiunea atomilor individuali. în acelaşi timp, dezvoltarea tehnicilor experimentale a înlăturat ultimele prejudecăţi, după care, datorită limitelor de sensibilitate ale simţurilor noastre, existenţa atomilor ar rămîne pentru totdeauna dincolo de posibilităţile experienţei umane. De asemenea, ea a relevat în legile naturii aspecte şi mai profunde ale atomicităţii decît cele exprimate de vechea doctrină a di- vizibilităţii limitate a

materiei. Astfel, am înţeles că dacă vrem să cuprindem şi fenomenele atomice propriu-zise trebuie să lărgim sistemul de noţiuni adaptat experienţei noastre zilnice, sistem care de altfel ne-a servit să formulăm legile care guvernează proprietăţile macroscopice ale materiei şi constituie impozantul edificiu al aşa-numitei fizici clasice. Pentru a aprecia posibilităţile pe care această nouă perspectivă le furnizează filozofiei, în privinţa unei atitudini raţionale faţă de problemele fundamentale ale biologiei, va fi necesar să ne amintim pe scurt liniile principale de dezvoltare care au dus la elucidarea situaţiei în teoria atomică.

După cum se ştie, punctul de plecare în fizica atomică modernă a fost recunoaşterea naturii atomice a electricităţii, indicată la început de cunoscutele cercetări ale lui Faraday asupra electrolizei şi stabilită în mod definitiv prin izolarea electronului în frumoasele fenomene de descărcări electrice prin gaze rarefiate, care au atras atît de mult atenţia la sfîrşitul veacului trecut. Deşi cercetările lui J. J. Thomson au scos la lumină rolul jucat de electroni în cele mai variate fenomene fizice şi chimice, cunoştinţele noastre asupra unităţilor structurale ale materiei nu au fost completate pînă la descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic, descoperire care a încoronat munca sa de pionier în domeniul transmutaţiei radioactive spontane a unor elemente grele. Intr-adevăr, această descoperire a oferit pentru prima dată o explicare indiscutabilă a invariabilităţii elementelor în reacţii chimice obişnuite, în care nucleul foarte mic şi greu rămîne neschimbat şi numai distribuţia electronilor orbitali este afectată. Mai mult, ea permite o înţelegere imediată nu numai a originii radioactivităţii naturale, în care caz are loc o explozie a nucleului însuşi, ci de asemenea şi a posibilităţii, descoperită mai apoi tot de Rutherford, de a induce transmutaţii ale elementelor prin bombardarea cu particule grele

de mare viteză, care, în ciocnirea cu nucleele, pot produce dezintegrarea acestora.

Ne-am îndepărta prea mult de subiect dacă am pătrunde mai adînc în acest nou şi minunat domeniu de cercetare deschis de studiul transmutaţiilor nucleare, care va fi unul dintre subiectele de bază ale discuţiilor dintre fizicieni la această reuniune. Punctul esenţial al argumentării noastre nu poate fi găsit într-o experienţă atît de nouă, ci în imposibilitatea evidentă de a descrie datele comune fizice şi chimice pe baza aspectelor principale bine stabilite ale modelului atomic al lui Rutherford, fără a ne depărta radical de la ideile clasice ale mecanicii şi electromagnetismului. De fapt, în armonia mişcărilori planetare exprimate de legile lui Kepler, proprietăţile de stabilitate ale modelelor mecanice ca sistemul solar, care, atunci cînd este perturbat, nu are nici o tendinţă de a se întoarce la starea originară, nu au în mod clar o asemănare suficientă cu stabilitatea intrinsecă a configuraţiilor electronice ale atomilor, care este răspunzătoare de proprietăţile specifice ale elementelor. în plus, această stabilitate este ilustrată şi de analiza spectrală, care, după cum se ştie, a arătat că fiecare element posedă un spectru caracteristic de linii înguste, independent de condiţiile externe, în aşa fel încît permite identificarea compoziţiei materiale a celor mai îndepărtate stele prin observaţii spectroscopice.

O cheie pentru rezolvarea acestei dileme a fost dată de descoperirea de către Planck a cuantei elementare de acţiune, care avea să iniţieze o linie foarte diferită în cercetarea ştiinţifică. După cum se ştie, Planck a ajuns la această descoperire fundamentală prin ingenioasa analiză a acelor aspecte ale echilibrului termic dintre materie şi radiaţie care, potrivit cu principiile generale ale termodinamicii, ar fi complet independente de orice proprietăţi specifice ale materiei şi de orice structură intimă a atomului. Existenţa cuantei elementare de acţiune exprimă de fapt un nou aspect al individualităţii proceselor fizice, care

este străin de legile clasice ale mecanicii şi electromagnetismului şi limitează valabilitatea lor esenţială la acele fenomene care cuprind acţiuni mari în comparaţie cu valoarea pentru o singură cuantă, aşa cum e dată de noua constantă atomică a lui Planck. Această condiţie, deşi amplu satisfăcută în fenomenele experienţei fizice obişnuite, nu e valabilă nicidecum pentru comportarea electronilor în atomi şi numai existenţa cuantei de acţiune este aceea care face ca electronii şi nucleele să nu se unească într-o singură masă neutră de dimensiuni infinitezimale.

Recunoaşterea acestei situaţii a sugerat dintr-o dată descrierea legăturii fiecărui electron în cîmpul din jurul nucleului ca o succesiune de procese individuale, prin care atomul trece de la una din aşa-numitele stări staţionare la alta, cu emisia energiei eliberate sub forma unei singure cuante de radiaţie electromagnetică. Această concepţie, venită imediat după reuşita interpretare a efectului foto- electric de către Einstein, a fost confirmată de frumoasele cercetări ale lui Franck şi Hertz asupra excitării liniilor spectrale prin ciocnirea electronilor de atomi. Ea a explicat nu numai complicatele legi generale ale liniilor spectrale, date de Balmer, Rydberg şi Ritz, dar a condus treptat cu ajutorul datelor spectroscopice, la o clasificare sistematică a tipurilor de stări staţionare ale oricărui electron din atom, oferind o explicare completă a relaţiei dintre proprietăţile fizice şi chimice ale elementelor, aşa cum sînt exprimate în tabloul periodic al elementelor al lui Mendeleev. în timp ce o astfel de interpretare a proprietăţilor materiei apărea ca o realizare deosebită — depăşind chiar visurile pitagoreicilor — a vechiului ideal de a reduce formularea legilor naturii la consideraţii asupra numerelor pure, presupunerea de bază a individualităţii proceselor atomice cuprindea în acelaşi timp o renunţare esenţială la conexiunea cauzală detaliată între evenimentele fizice, care de secole fusese baza indiscutabilă a filozofiei naturale.

Experienţe evidente de tipul cel mai diferit au arătat că este exclusă orice reîntoarcere la un mod de descriere legat de principiul de cauzalitate şi, de asemenea, că ar fi posibil să se dezvolte încercările mai vechi de a descrie existenţa cuantei de acţiune în teoria atomică printr-o mecanică atomică statistică adecvată, comparabilă ca consistenţă şi completitudine cu structura mecanicii clasice, din care ea ar apărea ca o generalizare raţională. Stabilirea aşa-numitei mecanici cuantice, pe care o datorăm, după cum se ştie, generaţiei mai tinere de fizicieni, pe lîngă faptul că este foarte folositoare în toate ramurile fizicii şi chimiei atomice, a clarificat în mod esenţial baza epistemologică a analizei şi sintezei fenomenelor atomice, însăşi revizuirea problemei observaţiei în acest domeniu, iniţiată de Heisenberg, unul din principalii fondatori ai mecanicii cuantice, a condus de fapt la dezvăluirea presupunerilor pînă atunci neglijate ale folosirii neechivoce a noţiunilor celor mai elementare pe care se bazează descrierea fenomenelor naturale. Punctul critic aici este înecu- noaşterea faptului că orice încercare de a analiza, pe calea obişnuită din fizica clasică, „individualitatea" proceselor atomice, aşa cum sînt condiţionate de cuanta de acţiune, va fi afectată de interacţiunea inevitabilă dintre obiectele atomice cercetate şi instrumentele de măsură absolut necesare pentru acest scop.

O consecinţă imediată a acestei situaţii este că observaţiile asupra obiectelor la scara atomică, obţinute cu diferite aranjamente experimentale, nu pot fi combinate în modul în care se obişnuieşte în fizica clasică. în particular, orice procedeu imaginabil, care ar avea ca scop determinarea poziţiilor în spaţiu şi timp a electronilor într-un atom, va conţine în mod inevitabil un schimb necontrolabil de impuls şi energie între atom şi instrumentul de măsură, schimb care anihilează complet regularităţile obser vate ale stabilităţii atomice de care este răspunzătoare cuanta de acţiune. Reciproc, orice cercetare a acestor re-

gularităţi, a căror descriere se bazează pe legile de conservare ale impulsului şi energiei, vor impune în principiu o renunţare în ceea ce priveşte localizarea spaţio-tempo- rală a electronilor individuali în atomi. Departe de a fi inconsistente, aspectele fenomenelor cuantice revelate de experienţe, obţinute în astfel de condiţii care se exclud reciproc, pot fi privite ca fiind complementare într-un mod cu totul nou. Desigur, punctul de vedere al „complementarităţii " nu înseamnă în nici un caz o renunţare arbitrară la analiza fenomenelor atomice, ci este, din contra, expresia unei sinteze raţionale a bogăţiei de experienţe din acest domeniu, care depăşesc limitele de aplicabilitate ale noţiunii de cauzalitate. Nu sînt de iloc de subestimat încurajările date de exemplul teoriei relativităţii care, prin dezvăluirea presupunerilor neaşteptate de folosire neechivocă a tuturor noţiunilor fizice, a deschis noi posibilităţi pentru înţelegerea unor fenomene aparent incompatibile. Trebuie totuşi să înţelegem că situaţia oferită de teoria atomică modernă este în întregime fără precedent în isto- ria fizicii. într-adevăr, întreaga structură noţională a fizicii clasice dusă la o completare şi unificare atît de frumoasă de către lucrările lui Einstein, este clădită pe presupunerea, admisă pe baza experienţei noastre zilnice asupra fenomenelor fizice, că este posibil să se facă o distincţie între comportarea obiectelor materiale şi observarea lor. Pentru a face o paralelă la teoria atomică, pri- vind aplicabilitatea limitată a unei astfel de idealizări obişnuite, trebuie de fapt să ne întoarcem la alte ramuri ale ştiinţei, cum ar fi psihologia, sau chiar la acel gen de probleme epistemologice cu care şi gînditori ca Buda şi Lao Tse au avut de-a face, atunci cînd au încercat să armonizeze poziţia noastră de spectatori şi actori în marea dramă a existenţei. Recunoaşterea unei analogii în caracterul pur logic al problemelor din domenii atît de separate ale preocupărilor omeneşti, nu implică însă acceptarea în fizica

atomică a vreunui misticism străin de adevăratul spirit al ştiinţei, ci, din contra, ne incită să examinăm dacă soluţiile directe ale paradoxurilor neaşteptate pe care le-am întâlnit în aplicarea celor mai simple noţiuni la fenomenele atomice, n-ar putea să ne ajute la clarificarea dificultăţilor logice din alte domenii ale experienţei.

Au existat unele sugestii de a se căuta o corelaţie directă între viaţă sau manifestarea liberă a voinţei şi acele aspecte ale fenomenelor atomice pentru înţelegerea cărora cadrul fizicii clasice este evident prea îngust. De fapt, este posibil să se arate multe aspecte caracteristice ale relaţiilor organismelor vii, ca sensibilitatea percepţiei vizuale sau mutaţia genelor indusă de radiaţiile penetrante, care, fără îndoială, cuprind o amplificare a efectelor proceselor atomice individuale similare cu acelea pe care se bazează tehnica experimentală din fizica atomică. De asemenea, recunoaşterea că fineţea mecanismelor de organizare şi de reglare a fiinţelor vii merge chiar atît de departe, încît nu ne permite să descriem caracteristicile vieţii. într-adevăr, aşazisele aspecte holiste * şi finaliste ale fenomenelor biologice, nu pot fi cu siguranţă explicate imediat cu ajutorul individualităţii proceselor atomice, dezvăluite de descoperirea cuantei de acţiune ; mai degrabă caracterul statistic esenţial al mecanicii cuantice pare, la prima vedere, să crească dificultăţile în înţelegerea regularităţilor biologice. în această dilemă însă, învăţămintele generale ale teoriei atomice ne sugerează că singurul mod de a reconcilia legile fizice cu concepţiile potrivite pentru descrierea fenomenelor vieţii este de a examina diferenţa esenţială în condiţiile de observare a fenomenelor fizice şi biologice.

Mai întîi de toate trebuie să înţelegem că orice dispozitiv experimental, cu care am putea studia comportarea atomilor ce intră în constituţia unui

---

* **De la *holos* = întreg — JV.7.**

organism în măsura în care acest lucru poate fi făcut cu atomi individuali în experienţe fundamentale de fizică atomică, va exclude posibilitatea de a menţine organismul în viaţă. Schimbul neîntrerupt de materie, care este legat în mod inseparabil de viaţă, va implica chiar imposibilitatea de a privi un organism ca un sistem bine definit de particule materiale, asemănător sistemelor considerate în orice descriere a proprietăţilor obişnuite fizice şi chimice ale materiei. Sîntem de drept îndemnaţi să ne închipuim regularităţile biologice proprii ca reprezentînd legi ale naturii, complementare cu cele indicate pentru a descrie proprietăţile corpurilor neînsufleţite, prin analogie cu relaţia complementară dintre proprietăţile de stabilitate ale atomilor înşişi şi să presupunem o astfel de comportare a particulelor constituente, care să permită o descriere în funcţie de localizarea spa- ţio-temporală. în acest sens, existenţa vieţii însăşi trebuie considerată, atît ca definiţie cît şi ca observare, ca un postulat de bază al biologiei, nefiind susceptibilă de analize mai detaliate, în acelaşi mod în care existenţa cuantei de acţiune, împreună cu atomicitatea ultimă a materiei, formează baza elementară a fizicii atomice.

Se va vedea că un asemenea punct de vedere este la fel de departe de doctrinele extreme ale mecanicismului cît şi de cele ale vitalismului. Pe de o parte, el condamnă ca nesemnificative orice comparări ale organismelor vii cu maşinile, fie că ele sînt efectuate folosindu-se construcţiile relativ simple ale iatro-fizicienilor, fie că se obţin prin teorii moderne, rafinate, cărora sîntem îndemnaţi să le dăm porecla de „iatro-cuantiste". Pe de altă parte, respinge ca iraţionale toate acele încercări de a introduce un fel de legi biologice incompatibile cu regularităţile bine stabilite fizice şi chimice, aşa cum au fost reînviate în zilele noastre sub impresia minunatelor descoperiri ale embriologiei privind creşterea şi diviziunea celulei. în legătură cu aceasta, trebuie în special amintit

că posibilitatea de a evita orice inconsistenţă de acest fel în cadrul complementarităţii este dată de însuşi faptul că niciun rezultat al cercetării biologice nu poate fi neechivoc descris altfel decît în termenii fizicii şi ai chimiei, şi ca şi orice descriere a experienţelor chiar din fizica atomică, trebuie să se bazeze pînă la urmă pe folosirea noţiunilor indispensabile pentru o înregistrare conştientă a impresiilor simţurilor.

Ultima remarcă ne aduce înapoi în domeniul psihologiei, unde au fost recunoscute dificultăţile pe care problemele de definiţie şi observaţie le pune în cercetarea ştiinţifică cu mult înainte ca ele să devină acute în ştiinţele naturii. într-adevăr, imposibilitatea ca în experimentele de fizică să distingem între fenomenele înseşi şi perceperea lor conştientă, cere în mod clar o renunţare la o descriere simplă cauzală, pe modelul fizicii clasice. Modul în care cuvinte ca „raţionamente" sau „senzaţii" sînt folosite pentru a descrie astfel de experimente aminteşte în mod sugestiv de complementaritatea din fizica atomică. Nu voi intra mai mult în detalii, dar subliniem numai că pînă la urmă tocmai această imposibilitate de a distinge net pe cale introspectivă între subiect şi obiect, este aceea care ne conferă libertatea de manifestare a voinţei. A lega voinţa liberă mai direct cu limitarea cauzalităţii în fizica atomică, aşa cum se sugerează adesea, este o tendinţă complet străină aceleia ce stă la baza observaţiilor făcute aici asupra problemelor biologice.

în încheiere, sper că îndrăzneala unui fizician care se aventurează aşa departe în afara domeniului său ştiinţific va fi iertată, ţinînd seama de această binevenită ocazie ce se oferă fizicienilor şi biologilor de a cinsti memoria marelui pionier, ale cărui descoperiri fundamentale sînt atît de importante pentru ambele ramuri ale ştiinţei.

Filozofia naturii şi culturile umane

1938

Numai după mari ezitări am acceptat amabila invitaţie de a mă adresa acestei adunări de distinşi reprezentanţi ai ştiinţelor antropologice şi etnografice, cu care eu, ca fizician, nu am contact ştiinţific direct. Totuşi cu această ocazie, cînd însăşi ambianţa acestor locuri istorice ne vorbeşte tuturor despre alte aspecte ale vieţii decît cele discutate la congresele obişnuite, ar fi probabil interesant de încercat în cîteva cuvinte să vă atrag atenţia către aspectul epistemologic al ultimelor descoperiri în filozofia naturală şi efectele lor asupra problemelor general-umane.

în ciuda marii diferenţe dintre ramurile noastre de cunoaştere, noua lecţie pe care fizicienii şi-au însuşit-o privind grija cu care trebuie aplicate convenţiile uzuale, atîta timp cît nu avem de-a face cu experienţa zilnică, poate într-adevăr fi capabilă să ne amintească într-un mod nou pericolul, binecunoscut de umanişti, de a judeca din punctul nostru de vedere culturile dezvoltate în sînul altor societăţi.

Desigur, este imposibili să faoem o distincţie netă între filozofia naturală şi cultura omenească. Fizica este de fapt o parte integrantă a civilizaţiei noastre, nu numai pentru că stăpînind din ce în ce mai mult forţele naturii am schimbat atît de radical condiţiile materiale ale vieţii, dar şi pentru că studiul acestor ştiinţe a contribuit atît de mult la clarificarea fondului propriei noastre existenţe. Asta înseamnă

că noi nu ne mai considerăm nişte privile- giaţi trăind în centrul universului, înconjuraţi de societăţi mai puţin norocoase trăind la marginile abisului, ci, prin dezvoltarea astronomiei şi geografiei, am înţeles că noi toţi împărţim o mică planetă sferică a sistemului solar, care este o mică parte a unor sisteme şi mai mari. Un avertisment serios asupra relativităţii judecăţilor omeneşti ne-a fost dat o dată cu revizuirea presupunerilor ce stau la baza folosirii unor noţiuni fundamentale, cum ar fi spaţiul şi timpul, care, prin relevarea dependenţei esenţiale a oricărui fenomen fizic de punctul de vedere al observatorului, a contribuit atît de mult la unitatea şi frumuseţea imaginii noastre de ansamblu despre lume.

în timp ce importanţa acestor mari realizări în privinţa concepţiilor noastre de ansamblu este de obicei înţeleasă, nu acelaşi lucru se întîmplă şi în privinţa neaşteptatei lecţii epistemologice pe care ne-a dat-o deschiderea unor noi domenii în cercetarea fizică, în ultimii ani. Pătrunderea noastră în lumea atomilor, pînă nu de mult închisă pentru ochii omului, este într-adevăr o aventură care poate fi comparată cu marile călătorii ale navigatorilor în jurul lumii şi cu explorările îndrăzneţe ale astronomilor în adîncimile spaţiului ceresc. După cum se ştie, dezvoltarea extraordinară a artei experimentării fizice nu numai că a înlăturat ultimele urme ale credinţei vechi că imperfecţiunea simţurilor noastre ne-ar împiedica să obţinem informaţii directe asupra atomilor individuali, dar ne-a arătat că atomii înşişi constau din particule mai mici, care pot fi izolate şi ale căror proprietăţi pot fi studiate separat. în acelaşi timp, însă, am învăţat, în cadrul acestui fascinant domeniu experimental, că legile naturii, care constituie marele edificiu al fizicii clasice, sînt valabile numai cînd avem de-a face cu corpuri care sînt compuse dintr-un număr practic infinit de atomi. Noile cunoştinţe privitoare la comportarea atomilor şi particulelor atomice izolate au dezvăluit de fapt o limită neaşteptată pentru subdivizarea tuturor acţiunilor fizice, care se

întind mult dincolo de vechea concepţie a divizibilităţii limitate a materiei şi dau fiecărui proces atomic un caracter individual particular. Această descoperire a făurit de fapt o bază nouă pentru înţelegerea stabilităţii intrinseci a structurilor atomice, care, în ultimă instanţă, condiţionează regularităţile din orice experienţă obişnuită.

Schimbarea radicală în atitudinea noastră faţă de descrierea naturii, adusă de această dezvoltare a fizicii atomice este probabil cel mai clar ilustrată de faptul că principiul cauzalităţii, pînă acum privit ca fundamentul indiscutabil pentru interpretarea fenomenelor naturale, s-a dovedit un cadru prea îngust pentru a cuprinde regularităţile specifice ce guvernează procesele atomice individuale. Cu siguranţă, oricine va înţelege că fizicienii au avut nevoie de argumente foarte convingătoare pentru a renunţa la idealul cauzalităţii în sine ; dar, în studiul fenomenelor atomice am aflat în repetate rînduri că problemele despre care se credea că au primit de mult o rezolvare definitivă păstrau încă surprize neaşteptate pentru noi. Desigur că aţi auzit despre enigmele legate de cele mai elementare proprietăţi ale luminii şi materiei, care au pus deseori în încurcătură pe fizicieni în ultimii ani. Contradicţiile aparente de care ne-am lovit în această privinţă sînt, de fapt, la fel de acute ca şi cele care au dat naştere la teoria relativităţii la începutul acestui secol, găsindu-şi explicaţia, ca şi aceasta din urmă, numai printr-o examinare mai atentă a limitărilor impuse de noile experienţe în folosirea noţiunilor care participă la descrierea fenomenelor, în timp ce în teoria relativităţii punctul decisiv a fost recunoaşterea modului esenţial diferit în care observatorii în mişcare relativă unul faţă de altul vor descrie comportarea unui obiect dat, elucidarea paradoxurilor fizicii atomice a dezvăluit faptul că interacţiunea inevitabilă dintre obiecte şi instrumentele de măsură pune o limită absolută posibilităţii de a vorbi despre comportarea obiectelor atomice, independentă de

mijloacele de observaţie.

Avem de-a face aici cu o problemă epistemologică cu totul nouă în filozofia naturală, unde orice descriere a experienţelor a fost bazată pînă acum pe presupunerea, deja inerentă în convenţiile obişnuite ale limbajului, că este posibil să facem o distincţie netă între comportarea obiectelor şi a mijloacelor de observaţie. Această presupunere nu este numai pe deplin justificată de experienţa de fiecare zi, dar constituie chiar întreaga bază a fizicii clasice, care tocmai prin teoria relativităţii a primit o completare atît de armonioasă. însă, în momentul în care avem de-a face cu fenomene ca procesele atomice individuale, care, datorită naturii lor, sînt în mod esenţial determinate de interacţiunea dintre obiectele în discuţie şi instrumentele de măsură necesare pentru constituirea aranjamentului experimental, sîntem siliţi să examinăm mai atent problema tipului de informaţii ce pot fi obţinute asupra obiectelor, în această privinţă trebuie, pe de o parte, să înţelegem că scopul fiecărui experiment fizic — anume de a obţine informaţii în condiţii reproductibile şi comunicabile — nu ne lasă nici o alegere şi trebuie să folosim noţiunile obişnuite sau mai rafinate din terminologia fizicii clasice, nu numai în descrierea construcţiei şi manipulării instrumentelor de măsură, dar de asemenea şi în descrierea rezultatelor experimentale. Pe de altă parte este în egală măsură important să înţelegem că tocmai această împrejurare atrage după sine faptul că niciun rezultat al vreunui experiment privind un fenomen care, în principiu, se află dincolo de domeniul fizicii clasice, nu poate da informaţii asupra proprietăţilor independente ale obiectelor, ci este în mod inerent legat de o situaţie definită în descrierea căreia instrumentele de măsură care interacţionează cu obiectele au o contribuţie esenţială. Acest ultim fapt dă o explicaţie directă a contradicţiilor aparente care se nasc atunci cînd rezultatele privitoare la obiectele atomice, obţinute prin diferite aranjamente experimentale, sînt combinate într-o imagine unică

a obiectului.

Potrivit, însă, unei terminologii adeseori folosite în fizica atomică, informaţii privind comportarea unui obiect atomic, obţinute în condiţii experimentale definite, pot fi caracterizate drept *complementare* oricăror informaţii asupra aceluiaşi obiect obţinute cu un alt aranjament experimental care exclude satisfacerea primelor condiţii. Deşi asemenea informaţii nu pot fi combinate într-o imagine unică folosind noţiunile obişnuite, ele reprezintă totuşi aspecte la fel de esenţiale pentru cunoaşterea obiectului în cauză (ce pot fi obţinute în acest domeniu). Recunoaşterea unui atare caracter complementar al analogiilor mecanice prin care s-a încercat să se vizualizeze efectele radiative, a dus de fapt la o rezolvare complet satisfăcătoare a enigmelor asupra proprietăţilor luminii, despre care am vorbit mai sus.

În acelaşi fel, numai prin luarea în considerare a relaţiei de complementaritate între diferitele experimente privind comportarea particulelor atomice, a fost posibil să se găsească cheia pentru înţelegerea contradicţiei frapante dintre modelele mecanice obişnuite şi legile particulare de stabilitate ce guvernează structurile atomice, care formează baza pentru orice explicare mai închegată a proprietăţilor fizice şi chimice specifice ale materiei.

Desigur, nu am intenţia ca, profitînd de această ocazie, să intru prea adînc în asemenea detalii, dar sper că am reuşit să vă dau o imagine suficient de clară a faptului că nu avem de-a face cu o renunţare arbitrară la analiza detaliată a bogăţiei aproape copleşitoare a experienţei noastre în domeniul atomilor. Din contra, avem de-a face cu o dezvoltare raţională a mijloacelor noastre de clasificare şi înţelegere a noii experienţe care, datorită caracterului său specific, nu-şi găseşte locul în descrierea formală obişnuită, potrivită numai pentru a descrie comportarea obiectelor atîta timp cît această comportare este independentă de mijloacele de observaţie. Departe de a conţine

vreun misticism contrar spiritului ştiinţei, punctul de vedere al complementarităţii formează într-adevăr o generalizare consistentă a idealului cauzalităţii.

Oricît de neaşteptată ar părea această evoluţie în domeniul fizicii, sînt sigur că mulţi dintre dumneavoastră au sesizat analogia strînsă dintre situaţia analizei fenomenelor atomice, aşa cum am descris-o, şi aspectele caracteristice ale problemei observării psihologiei umane.

într-adevăr, putem spune că tendinţa psihologiei moderne poate fi caracterizată ca o reacţie împotriva încercării de a analiza experienţa psihică sub forma unor elemente care pot fi asociate în acelaşi fel în care sînt asociate rezultatele măsurătorilor în fizica clasică. în introspecţie este evident imposibil să facem o distincţie netă între fenomenele înseşi şi percepţia lor conştientă şi deşi adesea putem acorda atenţie unui aspect particular al experienţei psihice, la o examinare mai atentă se va vedea că în realitate avem de-a face în asemenea cazuri cu situaţii mutual exclusive. Ştim cu toţii zicala veche după care, dacă încercăm să ne analizăm emoţiile, încetăm de a le mai avea şi, în acest sens, distingem experienţele psihice, pentru descrierea cărora sînt folosite în mod adecvat cuvinte ca „gînduri“ şi „sentimente", existînd o relaţie de complementaritate similară cu cea privind experienţele privind comportarea atomilor obţinute cu aranjamente experimentale diferite şi descrise cu ajutorul diferitelor analogii luate din ideile noastre obişnuite. Printr-o asemenea comparaţie nu intenţionez nicidecum să fac o legătură mai strînsă între fizica atomică şi psihologie, ci numai să accentuez argumentul epistemologic comun ambelor domenii şi, astfel, să determin a vedea cît de folositoare poate fi soluţia problemelor fizice relativ simple în clarificarea celor psihologice, care sînt mult mai complicate şi cu care au de-a face des antropologii şi etnologii în cercetările lor.

Venind acum mai aproape de subiectul nostru în susţinerea unor asemenea puncte de vedere la

compararea diferitelor culturi umane, vom comenta mai întîi relaţia tipică de complementaritate între modurile de comportare ale fiinţelor vii caracterizate prin cuvintele „instinct“ şi „raţiune “. Este adevărat că oricare din aceste cuvinte este folosit cu sensuri foarte diferite ; astfel instinct poate să însemne putere motrice sau comportare moştenită, iar raţiune poate denota un sens mai adînc ca şi o argumentaţie conştientă. Noi avem de-a face însă numai cu modul practic în care aceste cuvinte sînt folosite pentru a face distincţie între diferite situaţii în care se găsesc oamenii sau animalele. Nimeni nu va nega, desigur, apartenenţa noastră la lumea animalelor şi ar fi chiar foarte dificil de găsit o definiţie exhaustivă care să caracterizeze omul faţă de celelalte animale. într-adevăr, posibilităţile latente în orice organism viu nu sînt uşor de estimat şi cred că nu există niciunul dintre noi care n-a fost uneori adînc impresionat de măsura în care pot fi dresate animalele la circ. Nici chiar sub aspectul transmiterii informaţiilor de la un individ la altul nu s-ar putea trage o delimitare netă între animale şi om ; dar desigur darul vorbirii ne plasează în această privinţă într-o situaţie esenţial diferită, nu numai la schimbul de experienţă practică, dar mai întîi de toate în posibilitatea de a transmite la copii, prin educaţie, tradiţii privind comportarea şi raţionamentul, care formează baza oricărei culturi omeneşti.

în ceea ce priveşte raţiunea comparată cu instinctul, mai presus de toate este esenţial să înţelegem că nu se poate imagina o gîndire omenească fără folosirea noţiunilor încadrate în vreo limbă pe care fiecare generaţie trebuie să o înveţe de la început. De fapt, această folosire a noţiunilor nu numai că are o acţiune anihilatorie asupra vieţii instinctive, dar stă în mare măsură într-o relaţie exclusivă de complementaritate cu desfăşurarea instinctelor moştenite. Superioritatea uimitoare a animalelor aflate pe o treaptă de dezvoltare mai joasă în comparaţie cu omul în folosirea posibilităţilor naturii pentru menţinerea şi

propagarea vieţii, are adesea cu siguranţă explicarea ei adevărată în faptul că de la aceste animale nu putem aştepta o gîndire conştientă în sensul pe care noi îl dăm acestui cuvînt. în mod similar, capacitatea oamenilor aşa- numiţi primitivi de a se orienta în deşerturi sau păduri care, deşi aparent pierdută în multe societăţi civilizate, în anumite ocazii poate fi reînviată în oricare din noi, poate justifica concluzia că asemenea fapte sînt posibile numai cînd nu se recurge la gîndirea noţională care, la rîndul ei, este adaptată la scopuri mult mai variate de importanţă fundamentală pentru dezvoltarea civilizaţiei. Tocmai pentru că nu este încă adaptat folosirii noţiunilor, un nou născut poate fi cu greu recunoscut ca fiinţă umană • dar aparţinînd speciei om, deşi este mai neajutorat decît multe animale tinere, are desigur posibilităţile organice de a primi prin educaţie o cultură care să-i permită să-şi ocupe locul într-o societate umană.

Astfel de consideraţii ne pun faţă în faţă cu problema dacă este bine fondată credinţa larg răspîndită că fiecare copil este născut cu o predispoziţie de a adopta o cultură umană specifică, sau dacă nu e mai bine să presupunem că orice cultură poate fi imprimată şi făcută să prospere pe fonduri fizice foarte diferite. Aici desigur atingem un subiect încă controversat de geneticieni, care efectuează studii foarte interesante asupra moştenirii caracterelor fizice. în legătură cu aceste discuţii însă, trebuie mai presus de toate să ţinem seama că distincţia dintre moţiunile genotip şi fenotip, atît de fructuoase pentru clarificarea eredităţii la plante şi animale, presupune esenţialmente influenţa condiţiilor externe ale vieţii asupra proprietăţilor caracteristice ale speciilor. în cazul caracterelor culturale specifice ale societăţilor omeneşti problema este, însă, inversată, în sensul că legea pentru clasificare o constituie aici obiceiurile tradiţionale formate de-a lungul istoriilor societăţilor şi de către vecinătăţile naturale. Aceste obiceiuri, ca şi presupunerile lor inerente trebuie de aceea, analizate în detaliu

înainte ca orice influenţă posibilă a diferenţelor în dezvoltarea şi menţinerea culturilor respective să poată fi estimată. într-adevăr, în caracterizarea diferitelor naţiuni şi chiar a diferitelor familii aparţinînd unei naţiuni, putem considera în mare măsură urmele biologice şi tradiţiile spirituale ca independente unele de altele şi ar fi chiar tentant să rezervăm prin definiţie adjectivul „uman“ pentru acele caractere care nu sînt direct legate cu moştenirea corporală.

La prima vedere, ar putea să pară că o asemenea atitudine înseamnă o jonglerie de argumente dialectice. Dar lecţia pe care am primit-o din întreaga dezvoltare a fizicii este aceea că germenul unei dezvoltări fructuoase stă adesea tocmai în alegerea potrivită a definiţiilor. Cînd ne gîndim, de exemplu, la clarificarea adusă în diferite ramuri ale ştiinţei de argumentele teoriei relativităţii, vedem, într-adevăr ce avans se poate căpăta prin astfel de rafinamente formale. Aşa cum am arătat mai înainte, punctele de vedere relativiste sînt de asemenea folositoare în. promovarea unei atitudini mai obiective în ceea ce priveşte relaţia între culturile umane, ale căror diferenţe tradiţionale seamănă în multe privinţe cu manierele diferite dar echivalente în care poate fi descrisă experienţa fizică. Această analogie dintre problemele fizice şi cele umaniste are totuşi o întindere limitată şi exagerarea ei a dus chiar la neînţelegerea esenţei teoriei relativităţii însăşi. De fapt unitatea imaginii relativiste despre lume implică tocmai posibilitatea pentru orice observator de a prezice în cadrul sistemului său de noţiuni modul cum va coordona experienţa sa un alt observator în sistemul acestuia din urmă. Principalul obstacol în faţa unei atitudini corecte faţă de relaţia dintre diferite culturi umane constă în diferenţele adînc înrădăcinate ale fondurilor tradiţionale pe care este bazată armonia culturală în diferite societăţi umane şi care exclude orice comparaţie simplă între astfel de culturi.

Se vede dar că punctul de vedere al complementarităţii -oferă prin el însuşi un mijloc de a face faţă oricărei situaţii. De fapt, cînd se studiază culturile omeneşti diferite de cea a noastră avem de-a face cu o problemă particulară de observaţie, care, la o considerare mai atentă, prezintă multe aspecte comune cu problemele atomice sau psihologice, unde interacţiunea dintre obiecte şi instrumentele de măsură, sau inseparabilitatea conţinutului obiectiv şi a subiectului, împiedică o aplicare imediată a convenţiilor potrivite descrierii vieţii de fiecare zi. în special în studiul •culturilor societăţilor primitive, etnologii nu numai că sînt conştienţi de riscul de a perturba aceste culturi prin luarea de contact necesară, dar se tem şi de reacţia unor asemenea studii asupra propriei lor atitudini. Mă refer aici la experienţa, bine cunoscută exploratorilor, a zdruncinării ideilor lor datorită contactului cu armonia internă neaşteptată pe care viaţa omului poate să o prezinte chiar în tradiţii şi convenţii complet diferite de ale lor. Ca un exemplu revelator aş putea să vă amintesc măsura în care în anumite societăţi rolul bărbatului şi al femeii sînt complet inversate, nu numai în ceea ce priveşte obligaţiile domestice şi sociale, ci chiar privind comportarea şi mentalitatea. Chiar dacă mulţi dintre noi, în astfel de situaţii sînt înclinaţi să creadă că totul depinde de capriciile soar- tei ca un grup de oameni să aibă o anumită cultură şi nu pe a noastră, iar noi nu pe a lor ci pe a noastră, este clar că cea mai mică suspiciune în această privinţă implică trădarea vanităţii naţionale inerente oricărei culturi omeneşti de sine stătătoare.

Folosind cuvîntul complementaritate în semnificaţia sa proprie din fizica atomică, unde el caracterizează relaţia între experienţele obţinute cu diferite aranjamente experimentale şi demonstrabile numai cu ajutorul unor idei care se exclud reciproc, putem de asemenea să spunem că diferitele culturi sînt complementare una alteia. într-ade- văr, fiecare asemenea cultură prezintă un echilibru armonios de convenţii tradiţionale în care

potenţialele latente ale vieţii omeneşti pot să se desfăşoare într-un mod care ne relevă noi aspecte ale varietăţii şi bogăţiei sale. Desigur, nu poate exista în acest domeniu nici o problemă despre relaţii atît de absolut exclusive ca acelea din experienţele complementare asupra comportării obiectelor atomice bine definite, deoarece cu greu poate exista o cultură despre care să putem spune că este de sine stătătoare. Din contra, cu toţii ştim din numeroase experienţe, cum un contact mai mult sau mai puţin intim între două societăţi omeneşti poate duce la o fuziune treptată a tradiţiilor, dînd naştere la o cultură cu totul nouă. Nu mai trebuie pomenită importanţa în această privinţă a amestecului de populaţii prin emigraţie sau cucerire pentru dezvoltarea civilizaţiei omeneşti. Este într-adevăr cel mai nobil scop al studiilor umanistice să contribuie, printr-o cunoaştere mereu crescîndă a istoriei dezvoltării culturii, la acea eliminare treptată a prejudecăţilor, care este scopul comun al tuturor ştiinţelor.

După cum am arătat la începutul acestei expuneri, problemele discutate între experţii ce participă la acest congres depăşesc cunoştinţele mele. Singurul meu scop a fost acela de a vă da un exemplu de atitudine epistemologică generală pe care noi am fost forţaţi să o adoptăm în domeniul experienţei fizice, care este oarecum departe de pasiunile omeneşti. Nu ştiu însă dacă am găsit cuvintele potrivite pentru a vă transmite această idee şi, înainte de a încheia, poate că îmi este permis să vă relatez o experienţă care mi-a amintit o dată lipsurile mele în această privinţă. Pentru a explica unei asistenţe că eu nu am folosit cuvîntul prejudecată pentru a implica vreo condamnare a altor culturi, ci pur şi simplu pentru a caracteriza cadrul nostru naţional plin în mod necesar de prejudecăţi, m-am referit, glumind, la prejudecăţile tradiţionale pe care danezii la nutresc faţă de confraţii lor suedezi, aflaţi de partea cealaltă a frumosului Sound care se vede acum prin ferestre şi cu care ne-am luptat secole de-a rîndul chiar

între pereţii acestui castel. Din contactul cu ei noi am primit de-a lungul timpului influenţe deosebit de fructuoase. Acum veţi înţelege cît de şocat am fost cînd, după prelegerea mea, un ascultător veni la mine şi îmi spuse că el nu poate să înţeleagă de ce îi uram atît pe suedezi. Evident, trebuie să mă fi exprimat foarte confuz în acea ocazie şi mă tem că azi, de asemenea, am vorbit într-un mod neclar. Totuşi, sper că nu am vorbit atît de neclar încît să se producă astfel de neînţelegeri.

IV

Convorbiri cu Einstein asupra problemelor epistemologice din fizica atomică

1949

Am fost solicitat de editorul colecţiei „Filozofi în viaţă“ să scriu un articol pentru prezentul volum, în care oameni de ştiinţă contemporani cinstesc contribuţiile epocale ale lui Albert Einstein la progresul filozofiei naturii. Ei fac cunoscut cît de mult datorează întreaga noastră generaţie orientării pe care ne-a dat-o geniul său. M-am gîndit îndelung la cea mai bună modalitate de a explica şi eu acest lucru. Mi-au revenit vii în minte numeroasele ocazii în care de-a lungul anilor, am avut privilegiul de a discuta cu Einstein problemele epistemologice ridicate de dezvoltarea modernă a fizicii atomice. Am simţit că nu aş putea face ceva mai bun decît să încerc să relatez aceste discuţii, care m-au stimulat şi au avut astfel o deosebită însemnătate pentru mine. Sper că relatarea mea va putea forma şi în unele cercuri mai largi o imagine asupra rolului esenţial pe care l-a jucat schimbul

deschis de idei în progresul unui domeniu în care, din timp în timp, experienţe noi impuneau reconsiderarea punctelor noastre de vedere.

Chiar de la început s-a discutat deosebit de mult atitudinea care trebuie luată faţă de abaterile de la principiile obişnuite ale filozofiei naturii. O astfel de abatere caracterizează noua dezvoltare a fizicii, generată încă idin primul an al acestui secol prin descoperirea cuantei universale de acţiune de către Planck. Această descoperire a evidenţiat faptul că legile naturii au un caracter discret, care depăşeşte cu mult vechea doctrină a divizibilităţii finite a materiei. Ea ne-a învăţat că teoriile clasice ale fizicii sînt idealizări, care pot fi aplicate fără ambiguitate numai în cazurile limită în care toate acţiunile luate în considerare sînt mari în comparaţie cu cuanta. Renunţarea la descrierea cauzală a proceselor atomice, impusă de nevoia găsirii unei soluţii, a generat însă o întrebare. Noua descriere poate fi considerată doar ca o abatere temporară de la cazurile ideale şi va trebui în cele din urmă revizuită, sau ea va constitui o etapă definitivă pe calea descoperirii armoniei reale dintre analiza şi sinteza fenomenelor fizice ? Am dorit să redau baza discuţiilor noastre şi să scot cît mai clar în evidenţă argumentele unor astfel de puncte de vedere opuse. Am crezut de aceea necesar să dau o oarecare dezvoltare părţii care reaminteşte anumite caracteristici esenţiale ale progresului, la care Einstein însuşi a contribuit atît de hotărîtor.

Este binecunoscută legătura intimă, stabilită prima oară de Boltzmann, dintre legile termodinamicii şi regularităţile statistice prezentate de sistemele mecanice cu mai multe grade de libertate. Legătura aceasta l-a călăuzit pe Planck în ingenioasa lui tratare a problemei radiaţiei termice şi l-a dus la descoperirea sa fundamentală. în teoria

lui, Planck s-a ocupat în primul rînd de consideraţii cu caracter statistic. El s-a reţinut cu grijă de la formularea unor concluzii explicite asupra gradului în care existenţa cuantelor impune o abatere de la principiile mecanicii şi electro- dinamicii. Marea contribuţie originală a lui Einstein la teoria cuantică (1905) a constat tocmai în recunoaşterea modului în care fenomene fizice, de tipul efectului fotoelectric, pot depinde direct de efecte cuantice individuale *. în aceeaşi ani în care, prin dezvoltarea teoriei relativităţii, Einstein punea o nouă bază fizicii, el explora cu îndrăzneală noile trăsături proprii atomismului, trăsături ce depăşeau cadrul fizicii clasice.

Cu o intuiţie fără greş, Einstein a ajuns, din aproape în aproape, la concluzia că orice proces de radiaţie implică

i A. Einstein, „Ann. Phys.', 17, 132, 1905. emisia sau absorbţia unor cuante individuale de lumină sau „fotoni", avînd energia şi, respectiv, impulsul

$$E = \mathrm{Av} \qquad \text{şi} \qquad P = ha, \qquad (1)$$

unde h este constanta lui Planck, în timp ce v şi a sînt, respectiv, numărul de vibraţii în unitatea de timp şi numărul de unde pe unitatea de lungime. Ideea de foton, în ciuda utilităţii sale, genera o dilemă cu totul neprevăzută. Orice reprezentare corpusculară simplă a radiaţiei ar fi, în mod evident, incompatibilă cu efectele de interferenţă. Aceste efecte, care pot fi descrise numai pe baza unei teorii ondulatorii, reprezintă însă un aspect deosebit de esenţial al fenomenelor radiative. Gravitatea dilemei apare subliniată de faptul că efectele de interferenţă ne oferă singura bază de definire a noţiunilor de frecvenţă şi lungime de undă, noţiuni care intră chiar în expresiile energiei şi impulsului fotonului.

în această situaţie nu se poate încerca o analiză cauzală a fenomenelor radiative. Se pot numai estima probabilităţi de emisie radiativă individuală,

prin folosirea combinată a acestor tipuri opuse de reprezentare. Totuşi, este foarte important să se înţeleagă că, în astfel de condiţii, recurgerea la legile probabilităţii are un scop esenţial diferit de cel obişnuit de aplicare a consideraţiilor statistice, în care acestea constituie doar mijloace practice, de explicare a proprietăţilor sistemelor mecanice de mare complexitate structurală. în mecanica cuantică nu sîntem în faţa unor complicaţii de acest fel. Aici avem de-a face cu incapacitatea sistemului clasic de noţiuni de a descrie trăsătura particulară de indivizibilitate, sau de ,,individualitate", care caracterizează procesele elementare.

Insuccesul teoriilor fizicii clasice în explicarea fenomenelor atomice a fost accentuat şi mai mult de progresul cunoştinţelor noastre asupra structurii atomilor. înainte de toate, descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic (1911) a arătat dintr-o dată incapacitatea noţiunilor mecanicii clasice şi electromagnetismului de a explica stabilitatea proprie atomului. Teoria cuantică a oferit din nou o soluţie pentru rezolvarea problemei. îndeosebi, s-a găsit posibilitatea explicării stabilităţii atomilor şi a legilor empirice care guvernează spectrele elementelor, presupu- nînd că orice reacţie a atomului, care duce la o modificare a energiei lui, implică o tranziţie completă între două aşa-numite stări cuantice staţionare şi că, în particular, spectrele ar fi emise într-un proces în trepte, în care fiecare tranziţie este însoţită de emisia unei cuante de lumină monocromatică cu o energie egală tocmai cu cea a unui foton.

Aceste idei au fost confirmate în scurt timp prin experienţele lui Franck şi Hertz (1914) asupra excitării spec- trelor prin ciocnirea electronilor cu atomi. Ele impuneau din nou renunţarea la modul de descriere cauzal. Aceasta deoarece, în mod evident, interpretarea legilor spectrale implică ca un atom într-o stare excitată să aibă în general posibilitatea unei tranziţii cu emisie de fotoni, în oricare din stările sale cu energie mai mică. De fapt, însăşi ideea stărilor staţionare este

incompatibilă cu orice precizare în privinţa alegerii între astfel de tranziţii. Ea lasă loc numai noţiunii de probabilitate relativă a proceselor individuale de tranziţie. Singura călăuză pentru estimarea unor astfel de probabilităţi era aşa-numitul principiu de corespondenţă. El îşi avea originea în căutarea celei mai strînse legături posibile dintre rezultatele statistice ale proceselor atomice şi consecinţele de aşteptat pe baza teoriei clasice, care trebuie să fie valabilă la analiza fenomenelor în situaţia limită în care acţiunile luate în considerare sînt mari în comparaţie cu cuanta universală.

In perioada aceea nu se conturase încă o teorie cuantică generală consistentă (autorul foloseşte termenul *selfcon- sistent. — N. T.).* Atitudinea care predomina poate fi ilustrată în oarecare măsură de următorul pasaj dintr-o conferinţă, din 1913, a autorului[†] [‡]:

„Sper că m-am exprimat suficient de clar pentru ca dumneavoastră să puteţi aprecia măsura în care aceste consideraţii se opun sistemului de noţiuni admirabil de concordante, pe drept numit teoria clasică a electrodina- micii. Am încercat însă să vă formez convingerea că — tocmai prin sublinierea atît de puternică a acestei opoziţii — va fi posibil, în decursul timpului, să se stabilească o anume coerenţă în noile idei**.

Progrese însemnate în dezvoltarea teoriei cuantice au fost făcute de Einstein însuşi, în faimosul său articol din 1917 [§] asupra echilibrului radiativ, în care el a arătat că legea lui Planck pentru radiaţia termică poate fi dedusă în chip simplu din ipoteze conforme cu ideile de bază ale teoriei cuantice asupra constituţiei atomului. în acest scop, Einstein a formulat legi statistice generale în ceea ce priveşte apariţia tranziţiei radiative între stări staţionare. El a presupus că, atunci cînd atomul este expus unui cîmp de radiaţii, vor apărea procese de absorbţie şi de emisie cu o

† **N. Bohr,** ***The Theory of Spectra and Atomic Constitution,*** ‡**University Press, Cambridge, 1922.**

§ **A. Einstein, „Physik. Z.“ 18, 121, 1917.**

probabilitate proporţională cu intensitatea de iradiere, în unitatea de timp. Mai mult, că vor avea loc procese de emisie spontană chiar în absenţa perturbaţiilor externe, ele producîndu-se cu o viteză corespunzătoare unei probabilităţi apriorice. în ceea ce priveşte acest ultim punct, Einstein sublinia sugestiv caracterul fundamental al descrierii statistice. El atrăgea atenţia asupra analogiei dintre ipotezele privitoare la apariţia tranziţiilor radiative spontane şi legile binecunoscute care guvernează transformările substanţelor radioactive.

Printr-o cercetare mai profundă a cerinţelor termodinamicii în cadrul problemelor radiaţiei, Einstein a accentuat încă şi mai mult dilema, arătând că argumentaţia presupune ca orice proces de radiaţie să fie „unidirecţional", în sensul că există nu numai un impuls corespunzător transferării de către un foton unui atom a direcţiei lui de propagare, dar şi că însuşi atomul emiţător va primi un impuls echivalent, în sens opus. Aceasta deşi în reprezentarea ondulatorie nu poate fi vorba de preferinţe pentru o singură direcţie într-un proces de emisie. Poziţia lui Einstein însuşi faţă de astfel de concluzii este exprimată în- tr-un pasaj din finalul articolului menţionat *(op. cit.,* P- [127]:

„Aceste particularităţi ale proceselor elementare par să facă aproape de neevitat dezvoltarea unei tratări cuantice corespunzătoare a radiaţiei. Partea slabă a teoriei actuale constă în faptul că, pe de o parte, nu se poate obţine o legătură strînsă cu noţiunile concepţiei ondulatorii şi, pe de altă parte, lasă în seama întâmplării *(Zufall)* timpul şi direcţia proceselor elementare ; cu toate acestea, am o încredere totală în valabilitatea făgaşului pe care s-a intrat".

Aceste probleme fundamentale au format baza conversaţiilor noastre în 1920, în timpul unei vizite la Berlin, cînd am avut marea ocazie de a-1 întîlni prima oară pe Einstein. Discuţiile acelea mi-au revenit adesea în minte şi ele au adăugat la admiraţia mea pentru Einstein o profundă impresie

legată de atitudinea sa imparţială. Evident, folosirea cu predilecţie de către Einstein a unor expresii pitoreşti de tipul „unde-fantomă *(Gespensterfelderj* purtînd fotonul", nu implicau tendinţe către misticism. Ele indicau mai degrabă un umor profund, care se transmitea tuturor remarcilor sale. Rămînea însă o anumită deosebire între atitudinea sa de fond şi cea aparentă. Einstein poseda o măiestrie remarcabilă în coordonarea unor experienţe aparent contradictorii, fără a abandona continuitatea şi cauzalitatea. El era probabil mult mai puţin dornic să renunţe la astfel de principii decît aceia pentru care o renunţare la ele se impunea ca singura posibilitate aparentă pentru a se înainta pe drumul coordonării variatelor evidenţe, care se acumulau zilnic, în cadrul explorării noului domeniu de cunoaştere legat de fenomenele atomice.

în anii următori, în care problemele atomice au atras atenţia unor cercuri tot mai largi de fizicieni, contradicţiile proprii teoriei cuantice s-au simţit mai puternic ca oricînd. Reprezentativă pentru această situaţie este discuţia prilejuită de descoperirea în 1922 a efectului Stern-Gerlach. Pe de o parte, acest efect constituie un sprijin solid ideii stărilor staţionare şi, în particular, teoriei cuantice a efectului Zeemann, dezvoltată de Sommer- feld ; pe de altă parte însă, aşa cum au arătat în mod clar Einstein şi Ehrenfest[1], apar greutăţi de netrecut pentru orice încercare de a se elabora o reprezentare a

[4] **A. Einstein şi P. Ehrenfest, ,,Z. Physik“, 11, 31, 1922.**

comportării atomilor într-un cîmp magnetic. Paradoxuri analoge au fost generate de descoperirea de către Comp- ton (1924) a schimbării lungimii de undă care însoţeşte împrăştierea radiaţiei X pe electroni. Acest fenomen

oferea, aşa cum se ştie, cea mai directă dovadă a corectitudinii reprezentării lui Einstein, în privinţa transferului de energie şi impuls în procesele radiative ; în acelaşi timp, era de asemenea clar că o reprezentare simplă, de tipul unei ciocniri între corpuscule, nu va putea oferi o descriere completă a fenomenului. în lupta cu aceste greutăţi, au fost formulate în acea vreme chiar îndoieli în legătură cu conservarea energiei şi impulsului în procesele radiative individuale[5] ; acest punct de vedere a trebuit să fie foarte repede abandonat în faţa rezultatelor unor experienţe mult mai rafinate, care puneau în evidenţă corelaţia dintre deviaţia fotonului şi reculul corespunzător al electronului.

Drumul către o lămurire a situaţiei a fost de fapt asigurat în primul rînd prin dezvoltarea unei teorii cuantice mai clare. Un prim pas în acest sens a fost realizat prin recunoaşterea de către de Broglie, în 1925, a faptului că dualitatea undă-corpuscul nu este legată numai de proprietăţile radiaţiei, ci ea apare şi în explicarea comportării particulelor materiale. în scurtă vreme această idee a fost confirmată convingător prin experienţe asupra fenomenelor de interferenţă cu electroni. Einstein, care deja luase în considerare profunda analogie dintre proprietăţile radiaţiei termice şi cele ale gazelor, în aşa-numita stare degenerată[6], a salutat de la apariţie ideea lui de Broglie. Noua linie a fost dezvoltată cu mult succes de Schrodinger (1926). în particular, acesta a arătat cum ar putea fi reprezentate stările staţionare ale sistemelor atomice prin soluţiile proprii ale unei ecuaţii de undă. La stabilirea acesteia, Schrodinger a fost condus de analogia formală dintre problemele mecanice şi cele optice, analogie ce fusese indicată iniţial de către Hamilton. Şi totuşi, aspectele paradoxale ale teoriei cuantice nu erau încă în nici un fel elucidate. Ele chiar se accentuaseră,

[5] N. B o h r, H. A. K r a m e r s şi J. C. S 1 a t e r, „Phil. Mag.“, 47, 785. 1924.

[6] A. Einstein, „Beri. Ber.“, 261, 1924; 3 si 18, 1925. prin

contradicţia aparentă dintre cerinţele principiului general al superpoziţiei, din descrierea ondulatorie, şi caracterul de individualitate al proceselor atomice elementare.

în acelaşi timp, Heisenberg (1925) stabilea bazele unei mecanici cuantice raţionale, care s-a dezvoltat apoi rapid prin contribuţiile însemnate ale lui Bom şi Jordan, ca şi ale lui Dirac. în această teorie se introduce un formalism, în care variabilele cinematice şi dinamice din mecanica clasică sînt înlocuite prin simboluri, care se supun unei algebre necomutative. în ciuda renunţării la reprezentările orbitale, se folosesc încă, neschimbate, ecuaţiile canonice ale lui Hamilton din mecanică, iar constanta lui Planck intră numai în legile de comutare,

= — ’ (2) 2TC

valabile pentru orice pereche de variabile conjugate *q* şi *p.* Printr-o reprezentare a simbolurilor prin matrici, cu elementele legate de tranziţiile dintre stări staţionare, a devenit pentru prima oară posibilă o formulare cantitativă a principiului de corespondenţă. Trebuie reamintit aici că o etapă preliminară importantă în obţinerea acestui rezultat a fost realizată în special prin contribuţiile lui Kramers. Ele au fost acelea care au dus la stabilirea unei teorii cuantice a dispersiei, la baza căreia stau legile generale ale lui Einstein asupra probabilităţilor de apariţie ale proceselor de absorbţie şi de emisie.

Acest formalism al mecanicii cuantice, aşa cum a demonstrat Schrodinger puţin timp după aceea, dă rezultate identice cu cele ce se obţin prin metodele matematice, adesea mult mai convenabile, ale teoriei ondulatorii. în anii următori au fost treptat stabilite metode generale pentru o descriere statistică în esenţă a proceselor atomice. în cadrul ei se realiza combinarea trăsăturilor de individualitate cu cerinţele principiului superpoziţiei, în mod egal caracteristice pentru teoria cuantică. Printre

numeroasele progrese din această perioadă, trebuie în special menţionat că formalismul s-a dovedit capabil să încorporeze principiul de excluziune, care guvernează stările sistemelor cu mai mulţi electroni. Acest principiu fusese stabilit de Pauli, înainte de elaborarea mecanicii cuantice, printr-o analiză a spectrelor atomice. înţelegerea cantitativă a unui număr mare de evidenţe empirice nu a mai lăsat nici o îndoială asupra fertilităţii şi corectitudinii formalismului mecanicii cuantice. Caracterul său abstract a dat însă naştere la o impresie de inaccesibilitate. O lămurire a acestei situaţii ar cere, de fapt, o examinare mai amănunţită a însăşi problemei observării în fizica atomică.

Această etapă de dezvoltare a fost iniţiată, aşa cum se ştie, de Heisenberg (1927) **. El a fost cel care a remarcat că informaţia ce se obţine despre starea unui sistem atomic implică întotdeauna o „imprecizie* caracteristică. Astfel, în baza relaţiilor fundamentale (1), orice măsurare a poziţiei unui electron cu ajutorul unui aparat oarecare (de exemplu un microscop), care foloseşte o radiaţie de înaltă frecvenţă, va fi legată de un schimb de impuls între electron şi aparatul de măsură. Această interacţiune este cu atît mai mare, cu cît se încearcă o determinare mai precisă a poziţiei. Confruntând astfel de consideraţii cu exigenţele formalismului mecanicii cuantice, Heisenberg a atras atenţia asupra faptului că legea de comuntare (2) impune o limitare reciprocă în determinarea celor două variabile conjugate, q şi p, care este exprimată de relaţia

(3)

unde A q şi A p sînt impreciziile, definite convenabil, în determinarea acestor variabile. Se remarcă astfel conexiunea intimă dintre descrierea statistică a mecanicii cuantice şi posibilităţile reale de măsurare. Relaţia, numită de imprecizie este,

** **W. Heisenberg, „Z. Physik“, 43, 172, 1927.**

precum a arătat Heisenberg, foarte însemnată pentru elucidarea paradoxurilor implicate de încercările unei analize a efectelor cuantice în cadrul reprezentării fizicii obişnuite.

Noul progres din fizica atomică a fost discutat, sub diferitele lui aspecte, la Congresul Internaţional de Fizică pentru comemorarea lui Volta, ţinut la Como, în septembrie 1927. într-un referat pe care l-am prezentat cu această ocazie[8], am argumentat un punct de vedere, denumit al complementarităţii, capabil să cuprindă caracteristică de individualitate a fenomenelor cuantice. în acelaşi timp, el este în măsură să clarifice, în acest domeniu de experienţă, aspectele particulare ale problemei observaţiei. în acest scop, este hotărîtor să se recunoască că *oricît de mult ar depăşi unele fenomene domeniul explicaţiilor clasice ale fizicii, exprimarea tuturor rezultatelor trebuie făcută în termeni clasici.* Argumentul este pur şi simplu acela că, prin cuvîntul „experiment[11], ne referim la o situaţie în care putem să spunem alte lucruri decît acelea de la care am plecat şi pe care le-am învăţat. De aceea, descrierea dispozitivului experimental şi redarea rezultatelor observaţiei trebuie făcute într-un limbaj clar, prin folosirea convenabilă a terminologiei fizicii clasice.

Această problemă crucială avea să devină tema principală a discuţiilor, care vor fi relatate în cele ce urmează. Ea implică *imposibilitatea oricărei separări nete între comportarea obiectelor atomice şi interacţiunea lor cu instrumentele de măsurare, folosite pentru stabilirea condiţiilor în care apar fenomenele.* De fapt, individualitatea efectelor cuantice tipice îşi găseşte expresia proprie în faptul că orice încercare de a subdivide fenomenele impune o modificare a dispozitivului experimental. Se creează astfel noi posibilităţi de interacţiune între obiecte şi instrumentele de măsurare, interacţiuni care sînt în principiu necontrolabile. Ca

urmare, evidenţele obţinute în diferite condiţii experimentale nu pot fi înţelese în cadrul unei singure reprezentări. Ele trebuie considerate *complementare,* în sensul că numai totalitatea fenomenelor îngăduie epuizarea informaţiei posibile despre obiecte.

în aceste condiţii un element esenţial în crearea ambiguităţilor este dat de atribuirea convenţională de calităţi fizice obiectelor atomice, ca atunci cînd considerăm, de exemplu, contradicţia legată de proprietăţile de corpuscul şi de undă ale electronilor şi fotonilor. în acest caz avem de-a face cu reprezentări contradictorii, fiecare referin- du-se la cîte un aspect esenţial al evidenţei empirice. Efec-

[6] ***Atti del Congresso Internaţionale dei Fisici,*** **Como, 1927 (retipărit în „Nature", 121, 78 şi 580, 1928).** tul Compton este, de asemenea, un exemplu care ilustrează modul în care, prin examinarea condiţiilor experimentale în care apar fenomenele complementare, se înlătură paradoxuri aparente. O descriere consecventă a acestui efect a întîmpinat la început serioase dificultăţi. în adevăr, orice dispozitiv convenabil pentru studiul schimburilor de energie şi impuls între electron şi foton trebuie să includă o imprecizie în descrierea spaţio-temporală a interacţiunii. Această imprecizie este suficientă pentru a nu permite şi definirea numărului de unde şi a frecvenţei, care intră în relaţia (1). Invers, orice încercare de a localiza mai exact ciocnirea dintre electron şi foton, datorită interacţiunii inevitabile cu rigla fixă şi cu ceasornicele, care definesc împreună sistemul de referinţă spaţio-temporal, va exclude orice informaţie mai precisă în ceea ce priveşte bilanţul impuls-energie.

Aşa cum s-a subliniat în referat, un mijloc potrivit pentru o descriere complementară îl oferă tocmai formalismul mecanicii cuantice. El reprezintă o schemă pur simbolică, care, pe baza principiului de

corespondenţă, permite prevederea rezultatelor ce se pot obţine, în condiţii precizate, cu ajutorul noţiunilor clasice. Trebuie reamintit că şi în cazul relaţiei de imprecizie (3) avem de a face cu o implicare a formalismului, care interzice o exprimare clară, prin cuvinte convenabile unei descrieri în cadrul fizicii clasice. în acest sens, o frază ca „noi nu putem să cunoaştem în acelaşi timp impulsul şi poziţia unui obiect la scara atomică[11], stîrneşte dintr-o dată întrebări asupra relaţiei fizice dintre cele două caracteristici ale obiectelor. Un răspuns poate fi dat numai prin referire la condiţiile în care se pot folosi, fără ambiguitate, pe de o parte, noţiunile de spaţiu şi timp, iar pe le altă parte, legile dinamice de conservare. Combinarea acestor noţiuni într-o singură reprezentare, printr-un lanţ cauzal de evenimente este prin esenţă de domeniul mecanicii clasice. Sesizarea unor regularităţi care depăşesc posibilităţile de înţelegere ale unei astfel de reprezentări este asigurată însă de faptul că studiul fenomenelor complementare impune dispozitive experimentale diferite, care se exclud reciproc.

în fizica atomică apare necesitatea unei noi examinări a bazelor unei folosiri clare a ideilor din fizica obişnuită. Intr-o anumită măsură se reaminteşte, astfel, nevoia care l-a împins pe Einstein la originala sa revizuire a noţiunilor de spaţiu şi timp. Dezvoltarea acesteia, de importanţă primordială în cadrul problemei observaţiei, a asigurat o deosebită unitate reprezentării noastre despre lume. Fără a sublinia toate aspectele noi ale tratării cuantice, remarcăm că, în cadrul teoriei relativităţii, descrierea cauzală este concordantă în orice sistem de referinţă. în mecanica cuantică, interacţiunea necontrolabilă dintre obiecte şi instrumentele de măsurare ne obligă la o renunţare şi în această privinţă. Aceasta însă nu duce la nici o limitare a ţelului descrierii cuantice. Scopul întregii argumentări prezentate la Conferinţa de la Como a fost tocmai acela de a arătat că punctul de vedere al complementarităţii poate fi privit ca o

generalizare raţională a însăşi ideii de cauzalitate.

La discuţia generală avută la Como ne-a lipsit tuturor prezenţa lui Einstein. Puţin după aceea, în octombrie 1927, eu am avut însă fericita ocazie de a-1 întîlni la Bruxelles, la a V-a Conferinţă de Fizică a Institutului Solvay, care avea ca temă „electronii şi fotonii". încă de la început, Einstein a fost figura cea mai proeminentă a şedinţelor Solvay. O parte dintre noi am mers la conferinţă cu marea dorinţă de a afla reacţiile sale faţă de ultimul stadiu de dezvoltare al problemelor. Aşa cum consideram noi, progresul realizat asigura o serioasă clarificare a problemelor pe care el le abordase cu multă ingeniozitate chiar de la apariţie. în timpul discuţiilor, subiectul a fost revăzut în totalitate prin numeroase contribuţii şi au fost din nou prezentate argumentele pe care le-am menţionat în paginile precedente. Einstein şi-a exprimat totuşi o neliniştе profundă în privinţa gradului în care a fost abandonată tratarea cauzală în spaţiu şi timp în mecanica cuantică.

într-una din şedinţe[9], pentru a-şi ilustra atitudinea sa, Einstein a recurs la un exemplu simplu pe care îl redăm

- **Institut Internaţional de Physique Solvay, *Rapport et discussions du 5-e Conseil,* Paris, 1928, p. 258 şi urm.**

în fig. 1. O particulă (electron sau foton), trece printr-un orificiu sau printr-o fantă îngustă, dispusă la oarecare distanţă de o placă fotografică. Datorită corelării difracţiei undei cu mişcarea particulei (mişcarea este indicată în figură prin linii subţiri) este imposibil, în astfel de condiţii, să se prevadă cu exactitate punctul în care va sosi electronul pe placa fotografică. Se poate calcula numai probabilitatea ca, după o experienţă, electronul să se găsească într-o regiune dată a plăcii. Dificultatea care apare într-o astfel de reprezentare şi pe care Einstein o simţea atît de puternic, constă în aceea că dacă, în experienţă, electronul este înregistrat într-un punct *A* al plăcii, atunci dispare posibilitatea observării unui efect analog într-un alt punct (B), deşi legile propagării ondulatorii obişnuite nu permit o corelare între două astfel de evenimente.

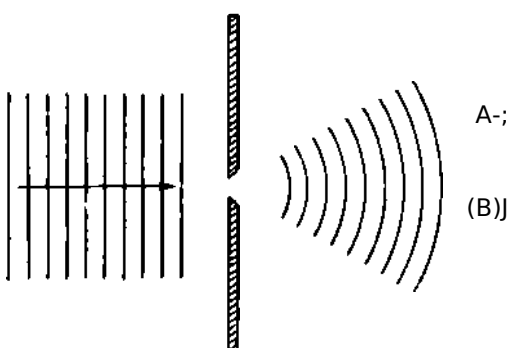


Fig. 1

Poziţia lui Einstein a dat naştere la discuţii aprinse într-un mic grup. în cadrul lui, Ehrenfest, care, de-a lungul anilor ne-a fost prieten intim amîndurora, a luat parte în modul cel mai activ şi mai util. Fără îndoială, şi noi toţi recunoşteam acest lucru, în exemplul dat mai sus, situaţia nu prezintă nici o analogie cu aplicarea statisticii în tratarea

sistemelor complexe din mecanică. Mai de grabă ea reaminteşte fondul concluziilor iniţiale ale lui Einstein însuşi, în legătură cu unidirecţionalitatea efectelor fiecărei radiaţii, care se opune net unei reprezentări ondulatorii simple (conform p. 42). Discuţiile erau axate pe problema dacă reprezentarea mecanicii cuantice epuizează posibilităţile de redare a fenomenelor observabile sau dacă, aşa cum susţinea Einstein, analiza ar putea fi dusă mai departe. în special trebuia lămurit dacă ar putea fi obţinută o descriere mai completă a fenomenelor prin considerarea mai- amănunţită a bilanţului energiei şi impulsului în procesele individuale.

Pentru a explica sensul argumentelor lui Einstein ar fi ilustrativ să considerăm cîteva caracteristici simple ale bilanţului impuls-energie legat de localizarea unei particule în spaţiu şi în timp. în acest scop, vom examina cazul simplu al unei particule, care pătrunde prin orificiul unei diafragme, prevăzută, sau nu, cu un dispozitiv pentru închiderea şi deschiderea orificiului (aşa cum se prezintă în fig. 2 a şi respectiv, 2 &). Liniile paralele şi echidistante din partea stîngă a figurilor reprezintă trenul de unde plane, corespunzătoare stării de mişcare a unei particule, care, înainte de a ajunge la diafragmă, are un impuls *P,* legat de numărul de unde o prin a doua ecuaţie (1). în conformitate cu difracţia undelor care trec prin orificiu, starea de mişcare a particulei este reprezentată în partea dreaptă a diafragmei printr-un tren de unde sferice cu o deschidere unghiulară finită 0 şi, în cazul din fig. 2 *b,* cu o extindere radială. finită. Deschiderea acestei stări implică, deci, o anumită imprecizie A/? a acelei componente a impulsului particulei care este paralelă cu diafragma. în cazul unei diafragme cu dispozitiv de închidere apare o imprecizie suplimentară AE, în ceea ce priveşte energia cinetică.

Imprecizia A <7 în măsurarea poziţiei particulei în planul diafragmei este condiţionată de raza *a* a

orificiului ei. Deoarece *Qxl/sa* folosind (1), obţinem tocmai *^h|q,* în concordanţă cu relaţia de incertitudine *(3).* Desigur, acest rezultat ar putea fi obţinut şi direct, observînd că, datorită expansiunii limitate a cîmpului undei în locul

fantei, componenta numărului de undă, care este paralelă cu planul diafragmei va fi afectată de o imprecizie Aa^l/a^l/Aî- în mod analog, în cazul trenului de unde limitat din fig. 2 *b,* împrăştierea în frecvenţe a componentelor armonice este evident Av?«l/A/, unde A/ este inter-

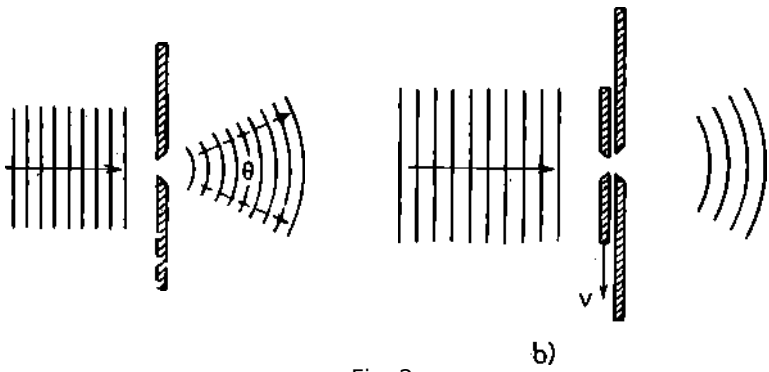


Fig. 2

valul de timp în care dispozitivul de intrare lasă deschis orificiul şi reprezintă, deci, imprecizia în timp a trecerii particulei prin diafragmă. Deci din (1) obţinem

AE-At (4)

în concordanţă, iarăşi, cu relaţia (3) pentru cele două variabile conjugate *E* şi *t.*

Din punctul de vedere al legilor de conservare, originea unor astfel de imprecizii, care intră în descrierea stării particulei după ce a trecut prin orificiu, se poate lega de posibilităţile ei de schimb de impuls sau energie cu diafragma sau cu dispozitivul de închidere. în ceea ce priveşte sistemul considerat în fig. 2 *a* şi 2 *b,* viteza diafragmei poate fi neglijată şi trebuie luat în considerare numai schimbul de impuls Ap, dintre particulă şi diafragmă. Dispozitivul de închidere, care lasă orificiul deschis un timp At, se mişcă însă cu o viteză considerabilă şi, din această cauză, un

transfer de impuls $|q$ implică şi un schimb de energie cu particula.

. Ag-Ap A At At adică de acelaşi ordin de mărime cu imprecizia A E data de (4). Este deci posibilă o compensare între impuls şi energie.

Problema pe care o ridică Einstein era : în ce măsură se poate realiza un control al transferului de impuls şi energie, implicat de o localizare a particulei în spaţiu şi timp» pentru a se defini starea particulei după ce aceasta a trecut prin orificiu ? Trebuie avut în vedere că poziţia şi mişcarea diafragmei şi obturatorului au fost presupuse mereu ca riguros raportate la sistemul de referinţă spaţiu- timp. In descrierea stării acestor corpuri, o astfel de ipoteză implică o imprecizie esenţială în privinţa impulsurilor şi energiilor lor. Aceasta însă nu trebuie să influenţeze prea mult vitezele, dacă diafragma şi obturatorul sînt grele. Putem însă dori să cunoaştem cu o precizie suficientă impulsul şi energia acestor componente ale instrumentului de măsurare, pentru a controla schimbul de impuls şi energie cu particula studiată. în orice caz, în conformitate cu relaţiile generale de imprecizie, vom pierde posibilitatea unei localizări precise în spaţiu şi timp. Avem deci de examinat în ce măsură această situaţie va dăuna intenţiei noastre de a folosi dispozitivul în totalitate. Vom vedea că această problemă crucială pune clar în evidenţă caracterul complementar al fenomenelor.

Să revenim un moment la cazul aranjamentului simplu redat în fig. 1, a cărui destinaţie nu a fost încă precizată, în cadrul formalismului mecanicii cuantice, datorită ipotezei că diafragma şi placa fotografică au poziţii bine definite în spaţiu, este imposibil să se facă prevederi mai amănunţite în ceea ce priveşte punctul în care particula va fi înregistrată pe placă. Dacă admitem însă o imprecizie suficient de mare în cunoaşterea poziţiei diafragmei, atunci va fi posibil, în principiu,

controlul transferului de impuls către diafragmă. Deci se vor putea face prevederi mai amănunţite în ceea ce priveşte direcţia traiectoriei electronului între orificiu şi punctul de înregistrare. în reprezentarea mecanicii cuantice avem de-a face aici cu un sistem de două corpuri, format din diafragmă şi par-

ticulă. Efectul Compton este de fapt tocmai o aplicare explicită a legilor de conservare la un astfel de sistem, deoarece, de exemplu, prin observarea reculului electronului cu ajutorul unei camere cu ceaţă, putem prevedea în ce direcţie va fi eventual observat fotonul împrăştiat.

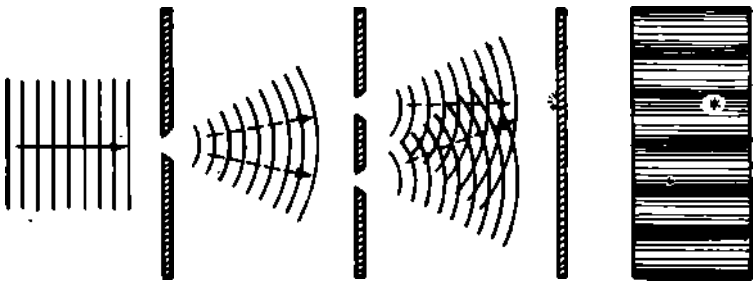


Fig. 3

In cursul discuţiilor, însemnătatea unor consideraţii de acest tip a fost lămurită în mod deosebit de interesant prin examinarea unui aranjament în care între diafragma cu fantă şi placa fotografică se introduce o altă diafragmă, cu două fante paralele, aşa cum este reprezentat în fig. 3. Dacă un fascicul paralel de electroni (sau fotoni) cade, dinspre stînga, pe prima diafragmă, în condiţii obişnuite vom observa pe placă o imagine de difracţie. Imaginea e indicată în dreapta figurii, prin umbre pe placa fotografică, prezentată frontal. În cazul unor fascicule intense, această imagine este construită prin acumularea unui număr mare de procese individuale, fiecare dînd naştere cîte unui singur spot pe placă. Din distribuţia acestor spoturi rezultă o lege simplă, care se poate obţine din analiza ondulatorie. Aceeaşi distribuţie poate fi regăsită prin tratarea statistică a mai multor experienţe, care au fost realizate cu fascicule atît de slabe încît, la o singură expunere, doar un singur electron (sau foton) poate sosi pe placa fotografică, în spotul indicat în figură printr-o mică stea. Aşa cum se arată prin săgeţi întrerupte, impulsul

transferat primei diafragme ar putea să difere, după cum se presupune că electronul trece prin fanta superioară sau prin fanta inferioară a celei de a doua diafragme. Einstein sugera că un control al transferului de impuls ar permite o analiză mai profundă a fenomenului şi, în particular, ar face posibil să se afirme prin care din cele două fante a trecut electronul înainte de a ajunge pe placă.

O analiză amănunţită a arătat însă că un control al transferului de impuls ar implica o imprecizie în cunoaşterea poziţiei diafragmei, ceea ce ar exclude apariţia fenomenelor de interferenţă discutate. De fapt, dacă w este un unghi mic pe care-1 fac traiectoriile ipotetice ale unei particule, care trece prin fanta superioară sau inferioară, diferenţa transferului de impuls între aceste două cazuri, în conformitate cu (1), va fi egală cu ACTCO. Orice control al impulsului diafragmei, cu o precizie suficientă pentru a se măsura această diferenţă, în conformitate cu principiul impreciziei, va impune o imprecizie minimă, comparabilă cu 1/CTCO, în poziţia diafragmei. Dacă, aşa ca în figură, diafragma cu două fante este pusă la jumătatea distanţei dintre prima diafragmă şi placa fotografică, se poate vedea că numărul de franje pe unitatea de lungime va fi crw şi, deoarece orice imprecizie l/trw a poziţiei primei diafragme va produce o imprecizie egală în poziţia franjelor, urmează că nu pot apărea efecte de interferenţă. Se poate uşor arăta că rezultatul rămîne adevărat dacă punem a doua diafragmă în oricare altă poziţie, între prima diafragmă şi placa fotografică. Rezultatul ar fi de asemenea obţinut dacă, în locul primei diafragme, s-ar folosi pentru controlul sugerat al transferului de impuls, oricare altul din cele trei elemente.

Aceste rezultate au o consecinţă logică foarte însemnată. El ne arată că sîntem obligaţi a alege, *fie* numai să trasăm traiectoria unei particule, *fie* numai să observăm efectele de interferenţă, ceea ce ne îngăduie să scăpăm de obligaţia paradoxală de a trage concluzia că, în comportarea sa, un electron

sau un foton va depinde de prezenţa unei fante într-o diafragmă prin care se poate demonstra că nu trece. Avem în acest caz un exemplu al modului în care apar fenomenele complementare în aranjamente experimentale care se exclud reciproc (cf. p. 57). în analiza efectelor cuantice sîntem în faţa imposibilităţii de a
trasa o separare netă între comportarea independentă a obiectelor atomice şi interacţiunea lor cu instrumentele de măsurare folosite pentru stabilirea condiţiilor în care apar fenomenele.

Discuţiile noastre asupra poziţiei care trebuie luată în faţa acestei noi situaţii privind analiza şi sinteza experienţei, au atins, în chip firesc, multe aspecte ale gândirii filozofice. în ciuda tuturor divergenţelor noastre, în modul de abordare şi în păreri, discuţiile au fost animate de un ton vesel general. De partea sa, Einstein m-a întrebat ironic dacă cred că autoritatea supremă recurge la jocul cu zaruri *(„...ob derr liebe Gott wiirfelt").* Eu am replicat atră- gînd atenţia asupra marelui avertisment deja subliniat de gînditorii antici, de a nu se atribui Providenţei calităţi în vorbirea obişnuită. îmi amintesc de asemenea cum, în punctul culminant al unei discuţii, Ehrenfest, în modul său afectuos de a-şi necăji prietenii, a făcut glumeţ aluzie la aparenta analogie a poziţiei actuale a lui Einstein cu cea a oponenţilor săi din teoria relativităţii ; Ehrenfest a adăugat însă imediat că nu va fi în stare să-şi găsească liniştea mintală pînă nu se va ajunge la înţelegere cu Einstein.

Interesul lui Einstein şi critica lui ne-au dat tuturor un imbold foarte serios ca să reexaminăm diferitele aspecte ale descrierii fenomenelor atomice. Pentru mine ele au constituit un stimulent bine venit pentru a cerceta mai amănunţit rolul jucat de instrumentele de măsurare. în timpul Conferinţei am încercat să schiţez într-o manieră pseudorealistă diferite aparate. Cîteva din acestea,

cu care scoteam în evidenţă caracterul de excludere reciprocă a condiţiilor experimentale, sînt date în figurile care urmează. Astfel, studiul unui fenomen de interferenţă de tipul arătat în fig. 3 sugerează el însuşi folosirea unui aranjament experimental asemănător cu cel indicat în fig. 4. Părţile fixe ale acestui dispozitiv, folosite ca diafragme sau ca port-placă fotografică sînt bine fixate pe un suport comun. într-un astfel de aranjament, în care cunoaşterea poziţiilor relative ale diafragmelor şi plăcii

fotografice este asigurată printr-o legătură rigidă, este evident imposibil un control al schimbului de impulsuri

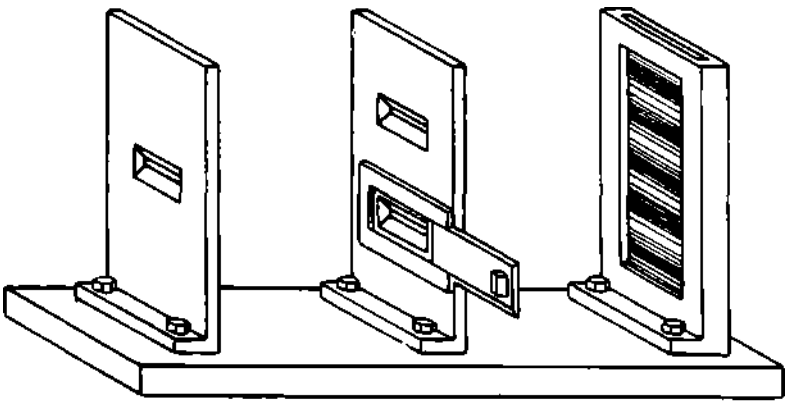
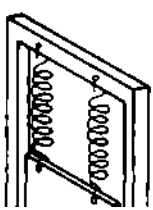
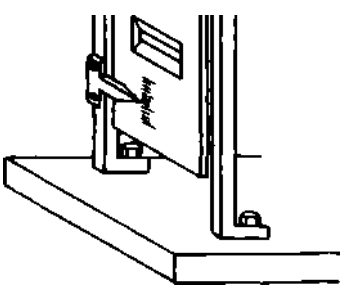


Fig. 4





dintre particulă şi părţi ale aparatului considerate separat. Singurul mod în care, cu un astfel de aranjament, putem să ne asigurăm că particula a

trecut dintr-o fantă în a

doua este să acoperim a doua diafragmă cu un capac, aşa cum indică figura. Dacă fanta este însă acoperită, nu mai poate fi vorba de fenomene de interferenţă. Pe placă vom

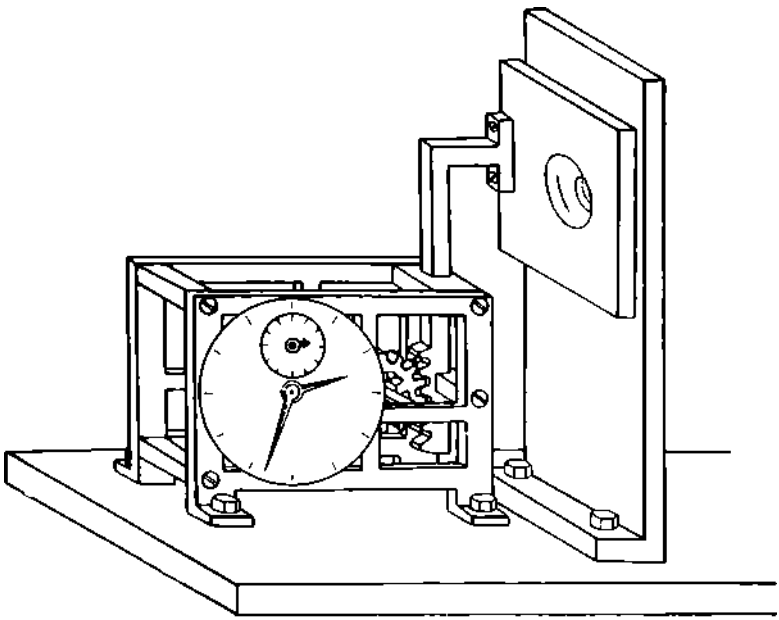


Fig. 6

observa o distribuţie continuă, ca în cazul unei singure diafragme, schiţat în fig. 1.

Este normal ca în studiul fenomenelor pe baza cărora realizăm un bilanţ amănunţit al impulsurilor, unele părţi din întregul dispozitiv să aibă posibilităţi de mişcare independentă faţă de celelalte. Un astfel de aparat este schiţat în fig. 5. El asigură suspendarea unei diafragme, prin arcuri slabe, pe un cadru solid, înşurubat pe suportul pe care trebuie fixate şi celelalte părţi imobile. Scala de pe diafragmă, împreună cu indicatorul de pe cadru, sînt necesare în studiile de mişcare a diafragmei. în particular, este vorba de acelea în care ar putea fi

necesară estimarea impulsurilor transferate diafragmei, pentru a se formula concluzii privind devierea suferită de particulă la trecerea prin fantă. Totuşi, orice citire pe scală, oricum ar fi realizată, va implica o schimbare necontrolabilă a impulsului diafragmei. Va exista deci întotdeauna, în conformitate cu principiul de incertitudine, o legătură reciprocă între cunoaşterea poziţiei fantei şi precizia estimării impulsului.

într-o redare semirealistă analogă, în fig. 6 se prezintă o parte dintr-un dispozitiv destinat studiului fenomenelor care, spre deosebire de cele tocmai discutate, impun o explicitare în coordonate temporale. Dispozitivul constă dintr-un obturator legat rigid cu un ceas robust, fixat pe un acelaşi suport cu o diafragmă. Pe suport se pot fixa şi alte elemente de acelaşi tip, controlate de acelaşi mecanism de ceasornic sau de alte ceasuri, etalonate în raport cu primul. în particular, rostul figurii este de a sublinia că un ceas este un mecanism a cărui funcţionare poate fi complet descrisă prin mecanica obişnuită. Funcţionarea sa nu este influenţată nici prin citirea poziţiei indicatoarelor, nici prin interacţiunea componentelor sale cu o particulă atomică. Pentru a se asigura deschiderea orificiului la un moment dat, se poate folosi, de exemplu, un instrument de acest tip, care să măsoare precis timpul necesar unui electron sau foton să ajungă de la diafragmă în vreun alt loc. Evident, nu va exista posibilitatea estimării transferului de energie pe obturator, pentru a se trage concluzii asupra energiei cu care particula a trecut prin diafragmă. Dacă ne interesează astfel de concluzii, sîntem desigur obligaţi să utilizăm un aranjament în care dispozitivele de obturare nu mai pot fi folosite ca ceasuri de precizie. în acest caz cunoaşterea momentului în care orificiul diafragmei este deschis implică o imprecizie, legată de precizia măsurării energiei prin relaţia generală (4).

Considerarea unor dispozitive fictive de acest fel, ca şi a modului lor de folosire mai mult sau mai puţin realist, s-a dovedit foarte instructivă. Ele ne-

au îndreptat atenţia către caracteristici esenţiale ale fenomenelor. în această privinţă punctul nodal îl constituie distincţia ce trebuie făcută între *obiectele cercetate* şi *instrumentele de măsurare* cu care se definesc, în termeni clasici, condiţiile pentru apariţia fenomenelor. Ca o ilustrare a consideraţiilor precedente, putem remarca, în trecere, că nu are importanţă dificultatea sau chiar imposibilitatea practică de a se realiza experienţe care să implice un control foarte precis al transferului de impuls şi energie de la particule atomice la corpuri grele, ca diafragmele şi dispozitivele de obturare. Hotărîtor este numai faptul că, spre deosebire de instrumentele de măsură obişnuite, în aceste cazuri dispozitivele, împreună cu particulele, constituie în totalitate sistemul căruia trebuie să-i fie aplicat formalismul mecanicii cuantice. De altfel, pentru precizarea condiţiilor într-o anumită aplicaţie a formalismului este esenţial ca *întregul aranjament experimental* să fie luat în considerare. Introducerea unei piese suplimentare în aparat, de exemplu o oglindă pusă în drumul particulei, va implica de fapt noi efecte de interferenţă esenţiale, influenţînd prevederile asupra rezultatelor ce vor fi eventual înregistrate.

Einstein a atras de mult atenţia şi a revenit adesea asupra unui exemplu care ilustrează pregnant măsura în care ni se impune să renunţăm la vizualizarea fenomenelor atomice, datorită imposibilităţii de a le subdiviza. Punem o oglindă semireflectantă în calea unui foton, lăsînd doar două posibilităţi pentru direcţia sa de propagare. Fotonul *sau* poate fi înregistrat numai pe una din direcţii pe una din cele două plăci fotografice puse la mare distanţă pe direcţiile sus-menţionate, *sau,* prin înlocuirea plăcilor fotografice cu oglinzi, se pot observa efectele date de interferenţa celor două trenuri de unde reflectate. De aceea, în orice încercare de a reprezenta într-o imagine comportarea fotonului, ne întîlnim cu dificultatea de a fi obligaţi să spunem că, pe de o parte, fotonul alege *una* din cele două căi şi că, pe de altă parte, el se

comportă ca şi cum le-ar fi străbătut pe *amîndouă.*

Tocmai argumente de acest tip reamintesc imposibilitatea de a subdiviza fenomenele cuantice şi scot în evidenţă ambiguitatea atribuirii de caracteristici fizice obişnuite obiectelor atomice. în particular, trebuie să se înţeleagă că — în afară de evaluarea dispunerii în spaţiu şi în timp a instrumentelor, care formează aranjamentul experimental — orice folosire fără ambiguitate a noţiunilor de spaţiu şi timp în descrierea fenomenelor atomice este limitată la înregistrarea observaţiilor, cum ar fi formarea de urme pe o placă fotografică sau efecte amplificatoare analoge, practic ireversibile, ca formarea unei picături de apă în jurul unui ion, într-o cameră cu ceaţă. Desigur, existenţa cuantei de acţiune determină în ultimă analiză proprietăţile materialelor din care sînt construite instrumentele de măsurare. De ea depind dispozitivele de funcţionare şi înregistrare. Acest lucru nu este însă important pentru problemele discutate aici şi legate de caracterul corespunzător şi complet al descrierii mecanicii cuantice.

La Congresul Solvay, în aceeaşi şedinţă în care Einstein şi-a formulat obiecţiile sale generale, au fost discutate util şi sub diferite unghiuri de vedere şi problemele menţionate [††]. Cu această ocazie s-a născut de asemenea şi o dis - cuţie interesantă asupra modului în care trebuie vorbit despre fenomenele pentru care se pot face numai prevederi cu caracter statistic. Prin terminologia propusă de Dirac, ca şi în cazul producerii proceselor individuale, trebuie să considerăm că avem de a face cu o alegere făcută de „natură". Heisenberg sugera însă că ar trebui să spunem că avem de-a face cu o selecţie impusă de „observator" prin construcţia dispozitivelor şi prin citirea înregistrărilor acestora. Orice terminologie de acest tip pare totuşi echivocă, deoarece, pe de o parte, este greu de admis să învestim natura cu o voinţă în

†† ***Ibidem,*** **p. 248 şi urm.**

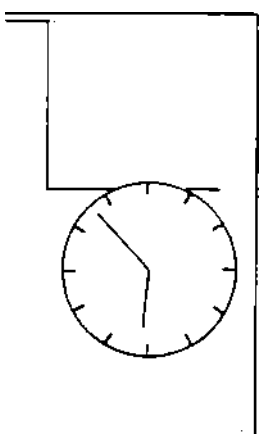
sens obişnuit, iar pe de altă parte, este cu siguranţă imposibil pentru observator să influenţeze evenimente care pot să apară în condiţii pe care el le-a stabilit. După părerea mea nu există altă alternativă decît aceea de a admite că în acest domeniu experimental avem de-a face cu fenomene individuale şi că posibilităţile de a manevra instrumentele de măsurare ne permit numai să facem o selecţie între diferitele fenomene complementare pe care dorim să le studiem.

Problemele epistemologice abordate aici, au fost tratate mai explicit în articolul meu din numărul din „Natur- wissenschaften" închinat celei de a 70-a aniversări a lui Planck (1929). în acel articol era făcută şi o comparaţie între învăţătura trasă din descoperirea cuantei universale de acţiune şi progresul care a decurs din descoperirea vitezei finite a luminii, care, prin munca de pionierat a lui Einstein, a clarificat atît de mult principiile de bază ale filozofiei naturii. Accentul pus, în teoria relativităţii, pe dependenţa tuturor fenomenelor de sistemul de referinţă a deschis drumuri cu totul noi, trasînd legi fizice generale, adevărate în domenii diferite. Aşa cum se argumenta atunci, în mecanica cuantică înţelegerea logică a regularităţilor certe, care guvernează fenomenele atomice, impune să se recunoască că nu poate fi făcută o separare netă între comportarea individuală a obiectelor şi interacţiunea lor cu instrumentele de măsurare, care definesc sistemul de referinţă.

Teoria cuantică creează astfel o situaţie nouă în fizică. Atragem însă atenţia asupra analogiei ei foarte strînse cu situaţia analizei şi sintezei experienţelor din multe alte domenii de cunoaştere şi de interes uman. După cum se ştie, multe greutăţi în biologie provin din diferitele moduri de trasare a liniilor de demarcaţie dintre obiect şi subiect, în analiza variatelor aspecte ale experienţelor psihice. în realitate, cuvinte ca „gînduri[44] şi „sentimente[4-], la fel de indispensabile în descrierea varietăţii şi scopului vieţii conştiente, sînt folosite într-un mod complementar analog cu

coordonatele spaţiu-timp şi cu legile de conservare dinamică din fizica atomică. O formulare exactă a acestor analogii implică, evident, încurcături de terminologie. Poziţia autorului este poate mai bine redată într-un pasaj din articolul citat. în el se afirmă că relaţiile reciproc-exclusive vor exista mereu, independent de modul de exprimare şi de încercările de definire strictă, însă ţelul principal al consideraţiilor acestea, inspirate în mare măsură de dorinţa de a modifica poziţia lui Einstein, a fost indicarea posibilităţii de reliefare a problemelor epistemologice, generale, pe baza informaţiilor obţinute în studiul unor experienţe fizice noi, principial simple.

La următoarea întîlnire cu Einstein, la conferinţa Sol- vay din 1930, discuţiile au luat o întorsătură aproape dramatică. Se formulase punctul de vedere că ar fi exclus un control al schimbului de impuls şi de energie între o- biecte şi instrumente de măsurare, dacă aceste instrumente servesc la definirea sistemului de referinţă spaţio- temporal al fenomenelor. Ca obiecţie, Einstein i-a opus



argumentul că un astfel de control ar fi de fapt posibil, dacă ar fi luate în considerare cerinţele teoriei relativităţii. în particular, legătura generală dintre energie şi masă exprimată în faimoasa formulă a lui Einstein

$$E = mc^2, \tag{5}$$

ar permite, printr-o simplă cîntărire, să se măsoare energia totală a oricărui sistem. în acest fel se poate controla, în principiu, energia ce-i este transferată sistemului cînd el interacţionează cu un obiect atomic.

Ca montaj convenabil pentru un asemenea scop Einstein propunea un dispozitiv, redat în fig. 7, constînd dintr-o cutie cu un orificiu într-unul din pereţii laterali. Orificiul poate fi închis sau deschis cu ajutorul unui obturator mişcat de mecanismul unui ceasornic aflat în interiorul cutiei. Cutia conţine la început o anumită cantitate de radiaţie. Ceasornicul este reglat astfel încît să deschidă obturatorul la intervale alese de timp, foarte mici, în aşa fel încît să fie posibil, cu orice precizie dorim, ca prin orificiu să treacă cîte un singur foton. De altfel, ar fi aparent posibil, de asemenea, ca, prin cîntărirea întregii cutii înainte şi după ce are loc acest eveniment, să se măsoare energia fotonului cu orice precizie dorită ; posibilitatea aceasta este însă în contradicţie evidentă cu imprecizia reciprocă a mărimilor timp şi energie din mecanica cuantică.

Argumentul a ridicat serioase obiecţii şi a dus la o examinare profundă a întregii probleme. La sfîrşitul acestor discuţii, la care Einstein a contribuit efectiv, a devenit clar că argumentul nu poate fi sprijinit. De fapt, pentru examinarea problemei a fost necesară o analiză mai atentă a consecinţelor identificării masei inerţiale cu masa gravitaţională, implicată de folosirea relaţiei (5). în particular, era esenţial să se ia în consideraţie legătura dintre viteza unui ceas şi poziţia sa într-un cîmp gravitaţional — binecunoscută din deplasarea

spre roşu a liniilor din spectrul solar — care decurge din principiul lui Einstein al echivalenţei dintre efectele gravitaţionale şi fenomenele observate în sisteme de referinţă accelerate.

Discuţiile noastre s-au concentrat asupra posibilităţii folosirii unui aparat, care ar îngloba dispozitivul lui Ein- steisn. El este prezentat în fig. 8 în aceeaşi manieră semi- realistă ca şi cele din figurile precedente. Cutia este prezentată în secţiune pentru a se vedea interiorul ei. Ea este suspendată de un dinamometru şi este prevăzută cu un indicator pentru a i se citi poziţia pe o scală fixată de suportul dinamometrului. Cîntărirea cutiei poate fi deci realizată cu orice precizie Am dorim, după ce s-a adus dinamometrul în poziţia zero, cu ajutorul unor greutăţi convenabile. Esenţial este însă că orice determinare a acestei poziţii cu o precizie *Aq* va implica o precizie minimă *Ap* în controlul impulsului cutiei, care e legată de *Aq* prin relaţia (8). Această imprecizie trebuie să fie, evident, mai mică decît impulsul total, care, în tot intervalul *T* de cîntărire, poate fi produs de acţiunea cîmpu- lui gravitaţional asupra unui corp de masă *Am,* sau

Apx — <T-g-Am, (6)

unde g este constanta gravitațională. Prin urmare, cu cit este mai mare precizia în citirea lui *q* cu indicatorul, cu atît este mai lung intervalul *T* de cîntărire, dacă trebuie

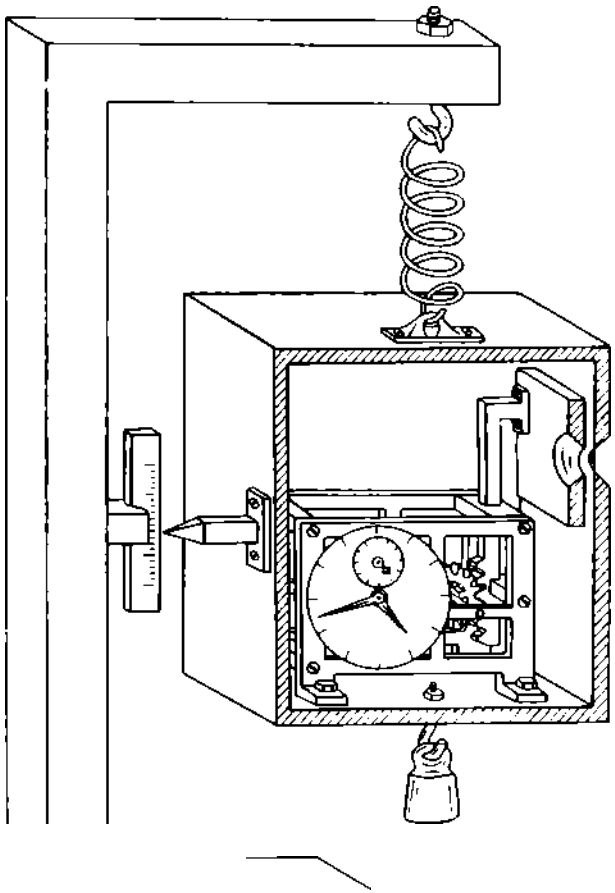


Fig. 8

obţinută o precizie Am dată în cîntărirea cutiei şi conţinutului ei.

Acum, conform teoriei relativităţii generalizate, cînd un ceas este deplasat în direcţia forţei gravitaţionale cu &q, îşi va schimba mersul. De aceea, citirea lui după un interval de timpT va diferi

cu o cantitate AT dată de relaţia

Comparînd (6) cu (7) vedem că, după cîntărire, va exista o imprecizie

$$\Delta T = \frac{1}{c^2}.0.\ A_2. \qquad (7$$

$$C^2A»H$$

în cunoşterea indicaţiilor date de ceas. împreună cu formula (5), această relaţie duce din nou la

$$AT.A^{\wedge}>^{\wedge},$$

în concordanţă cu principiul impreciziei. Prin urmare, orice folosire a aparatului ca mijloc de măsurare precisă a energiei fotonului, ne va împiedica să controlăm momentul ieşirii lui din cutie.

Discuţia aceasta a ilustrat forţa şi consistenţa argumentelor relativiste. De asemenea, ea a scos în evidenţă încă o dată necesitatea de a se discerne, în studiul fenomenelor atomice între instrumentul de măsură propriu-zis, care serveşte ca sistem de referinţă, şi acele părţi ale lui care trebuie considerate obiecte supuse studiului şi în privinţa cărora nu pot fi neglijate efectele cuantice. Einstein nu s-a opus acestei confirmări deosebit de sugestive a calităţii şi capacităţii largi de descriere a mecanicii cuantice. Totuşi, ulterior, într-o conversaţie avută cu mine, el şi-a exprimat

neliniştea în ceea ce priveşte absenţa unor principii de bază, strîns legate între ele, în cadrul cărora toate problemele să poată fi puse în acord pentru explicarea naturii. Din punctul meu de vedere, am replicat că, a- tunci cînd trebuie să ordonăm un domeniu experimental cu totul nou, putem să ne păstrăm încrederea profundă în orice principiu, formulat suficient de larg cu condiţia ca el să nu implice neconcordanţe logice. în această privinţă, formalismul matematic al mecanicii cuantice îndeplineşte în mod sigur toate cerinţele.

Congresul Solvay din 1930 a fost ultimul prilej în care, în discuţiile comune cu Einstein, am mai putut beneficia de prezenţa stimulatoare şi împăciuitoare a lui Ehren- fest. în 1933, puţin înaintea morţii sale, profund deplîn- să, el mi-a relatat că Einstein era departe de a fi mulţumit. Cu obişnuita lui ascuţime, Einstein putea discerne noi aspecte ale problemei, care sprijinea atitudinea sa critică. Astfel, la o examinare ulterioară a posibilităţilor de folosire a unui dispozitiv de cîntărire, Einstein a găsit variante ale procedeului iniţial. Chiar dacă ele nu-i permiteau utilizarea dispozitivului în scopul dorit iniţial, ele păreau să sporească paradoxurile în calea posibilităţilor unei rezolvări logice. Astfel, Einstein a remarcat că în urma cîntăririi preliminare a cutiei cu ceas şi după eliberarea fotonului rămînem încă în situaţia de a alege, fie să repetăm cîntărirea, fie să deschidem cutia pentru a compara citirea ceasului cu o scară de timp etalon. Prin urmare, în această etapă sîntem încă liberi să alegem dacă dorim să tragem o concluzie asupra energiei fotonului, sau asupra momentului în care el părăseşte cutia. Deci, fără a interfera în vreun fel cu fotonul, din momentul eliberării sale pînă la interacţiunea sa ulterioară cu vreun instrument de măsurare corespunzător, sîntem capabili să facem prevederi exacte referitoare *fie* la momentul ieşirii sale, *fie* la cantitatea de energie eliberată prin absorbţia sa. Totuşi, deoarece, în conformitate cu formalismul mecanicii cuantice, specificarea stării unei particule izolate nu poate implica atît o

corelare bună cu scara timpului, cît şi o stabilire exactă a energiei, formalismul nu pare să asigure mijloace pentru o descriere adecvată.

Spiritul cercetător al lui Einstein a scos la iveală încă odată un aspect specific situaţiei din mecanica cuantică. El ilustrează foarte pregnant cît de mult sînt depăşite aici obişnuitele explicaţii ale fenomenelor naturii. Eu, însă, nu am putut fi de acord cu scopul observaţiilor sale, ce mi-au fost comunicate de Elhrenfest. După părerea mea, nu există decît două căi pentru a judeca ca neadecvat un formalism matematic, care este concordant din punct de vedere logic : fie că se poate demonstra abaterea consecinţelor sale de la datele experimentale, fie că se poate «dovedi că prevederile sale nu epuizează posibilităţile de observare. Dar argumentaţia lui Einstein nu putea fi îndrumată către vreunul din aceste criterii. De fapt, trebuie să înţelegem că în problema discutată nu avem de-a face cu *un singur* aranjament experimental, cel indicat, ci este vorba de *două* montaje diferite, reciproc exclusive. în- tr-unul din montaje, balanţa împreună cu o parte din aparat este folosită, asemenea unui spectrometru, pentru studiul energiei transferate de un foton ; în celălalt montaj, un obturator comandat de un ceas etalonat, împreună cu un alt dispozitiv analog, reglat precis în timp faţă de ceas, sînt folosite pentru studiul timpului de propagare al unui foton pe o distanţă dată. în ambele cazuri, aşa cum a presupus şi Einstein, efectele observate pot fi în completă concordanţă cu prevederile teoriei.

Problema implică din nou necesitatea de a considera montajul experimental *în totalitate,* indicaţie care este o- bligatorie pentru orice aplicare corectă a formalismului mecanicii cuantice. în treacăt, putem adăuga că paradoxuri de tipul considerat de Einstein se întîlnesc şi în montaje foarte simple, ca cel schiţat în fig. 5. De fapt, după o măsurare preliminară a impulsului diafragmei, după trecerea unui electron sau a unui foton prin fontă, ni se oferă, în principiu, posibilitatea unei

alegeri. Putem fie să repetăm măsurarea impulsului, fie să controlăm poziţia diafragmei. Deci, putem face alternativ, prevederi legate de tipurile de observaţii urmărite. în privinţa obţinerii de efecte observabile cu un anumit aranjament experimental, trebuie de asemenea adăugat că, probabil nu se poate face o distincţie între situaţia în care planurile noastre de montaj sau de manevră a instrumentelor componente sînt dinainte stabilite, şi situaţia în care preferăm să terminăm planurile noastre într-o etapă mai tîrzie, în care particula este deja în drum de la un instrument la altul.

în descrierea mecanic-cuantică, libertatea noastră de a construi şi a manevra aranjamentul experimental îşi găseşte o expresie proprie în posibilitatea de a alege parametrii definiţi în mod clasic, care sînt introduşi în respectiva explicaţie a formalismului. în adevăr, în această privinţă, mecanica cuantică prezintă o corespondenţă cu situaţia obişnuită din fizica clasică. Corespondenţa aceasta apare deosebit de accentuat atunci cînd se consideră individualitatea proprie fenomenelor cuantice. Punctul de vedere formulat de Einstein a constituit din nou un imbold foarte bine venit pentru a se cerceta şi clarifica aspectele esenţiale ale situaţiei.

Congresul Solvay din 1933 a fost consacrat structurii şi proprietăţilor nucleelor atomice. în acest domeniu tocmai se făcuseră mari progrese în acea perioadă, atît datorită descoperirilor experimentale, cît şi datorită unor noi aplicaţii rodnice ale mecanicii cuantice. în legătură cu aceasta trebuie reamintit că tocmai fuseseră obţinute, în studiul transformărilor nucleare, evidenţe, care verificau mult mai direct legea fundamentală a lui Einstein privind echivalenţa masei cu energie. Einstein se dovedise un îndrumător deosebit în studiile de fizică nucleară. Trebuie de asemenea menţionat faptul că

recunoaşterea intuitivă de către Einstein a corelaţiei intime dintre legea trasformări- lor radioactive şi regulile probabilistice care controlează efectele individuale ale radiaţiei (cf. p. 50) a fost confirmată de explicarea prin mecanica cuantică a dezintegrărilor nucleare spontane. De fapt, avem în acest caz un exemplu tipic de descriere statistică. Relaţiile complementare dintre conservarea energiei şi impulsului şi coordonatele spaţiu-timpului sînt puse în evidenţă în modul cel mai pregnant în paradoxul binecunoscut al pătrunderii particulei prin bariere de potenţial.

Einstein însuşi nu a asistat la acest congres, care a avut loc într-o perioadă întunecată de evoluţii politice tragice. Perioada aceasta avea să influenţeze în mod deosebit şi soarta lui şi avea să sporească foarte mult aportul său la cauza umanităţii. Cu cîteva luni înainte am făcut o vizită la Princeton. Einstein era acolo oaspete al nou-înfiinţatului Institut for Advanced Study, de care avea să devină în scurt timp legat permanent. Am avut atunci posibilitatea de a vorbi din nou cu el despre aspectele epistemologice ale fizicii atomice. Deosebirea dintre modurile noastre de abordare şi de exprimare ridica însă piedici în calea unei înţelegeri reciproce. Aşa cum reiese din cele relatate, pînă atunci la discuţii luau parte un număr relativ mic de persoane. Curînd însă atitudinea lui Einstein, de critică a punctelor de vedere ale teoriei cuantice, la care aderaseră numeroşi fizicieni, a fost făcută cunoscută public printr-o lucrare cu titlul „Poate fi considerată completă descrierea realităţii fizice dată de mecanica cuantică ?“, publicată în 1935 de Einstein, Podol- sky şi Rosen[‡‡].

Argumentaţia acelui articol era bazată pe un criteriu pe care autorii îl exprimau în următoarea frază : „Dacă, fără a perturba în vreun fel un sistem putem prevedea cu certitudine (adică cu o probabilitate egală cu unitatea) valoarea unei mărimi fizice, atunci există un element de realitate

‡‡ **A. Einstein, B. Podolsky şi N. Rosen, „Phys. Rev.“, 47, 777, 1935,**

fizică, care corespunde acestei mărimi fizice[11]. Articolul face o expunere elegantă a consecinţelor formalismului mecanicii cuantice în cazul reprezentării stării unui sistem format din două părţi, care au interacţionat un interval limitat de timp. în continuare se arată că diferite mărimi, a căror determinare nu poate fi realizată în cadrul reprezentării uneia din părţile sistemului, pot fi totuşi prezise din măsuri făcute în cadrul celeilalte părţi a sistemului. în conformitate cu criteriul lor, autorii trag deci concluzia că mecanica cuantică nu poate „da o descriere completă a realităţii fizice[11]. Ei îşi exprimă convingerea că este posibilă dezvoltarea unei teorii mai corespunzătoare a fenomenelor.

Datorită luciditătii şi caracterului aparent incontestabil al argumentării, articolul lui Einstein, Podolsky şi Rosen a provocat agitaţie printre fizicieni şi a jucat un rol însemnat şi în discuţiile de filozofie în general. Cu siguranţă că lucrarea apărută avea un caracter foarte subtil. Ea scotea bine în evidenţă cît de departe sîntem, în mecanica cuantică, de posibilitatea unei reprezentări prin imagini. Se poate însă vedea că avem de-a face şi în acest caz cu probleme de exact acelaşi tip cu cele ridicate de Einstein în discuţiile precedente. într-un articol care a apărut cîteva luni mai tîrziu[§§], am încercat să arăt că, din punctul de vedere al complementarităţii, inconsistentele aparente erau complet înlăturate. Tendinţa argumentării era în esenţă similară cu cea expusă în paginile precedente, dar, în scopul reamintirii felului în care se discuta în acea vreme, cred că voi putea fi scuzat că citez anumite pasaje din articolul meu.

Astfel, după o referire la concluziile obţinute de Einstein, Podolsky şi Rosen pe baza criteriului formulat scriam :

„însă o astfel de argumentare ar părea foarte convenabilă pentru a indica neconsistenţa răsunetului descrierii mecanicii cuantice, bazat pe

§§ **N. Bohr, „Phys. Rev.“, 48, 696, 1935.**

un formalism matematic coerent, care include automat orice procedeu de măsurare de felul celui indicat. Contradicţia aparentă dezvăluie de fapt doar o nepotrivire esenţială a punctului de vedere obişnuit al filozofiei naturii privind redarea raţională a fenomenelor fizice, de tipul celor cu care se ocupă mecanica cuantică. Intr-adevăr, *interacţiunea finită dintre o- biect şi aparatele de măsură* este condiţionată de însăşi existenţa cuantei de acţiune. Ea verifică faptul că, datorită imposibilităţii de control a interacţiunii obiectului cu instrumentul de măsură cînd acesta îşi îndeplineşte funcţia, se impune cu necesitate renunţarea definitivă la idealul clasic de cauzalitate. Se impune, de asemenea, revizuirea radicală a atitudinii noastre faţă de problema realităţii fizice. De fapt, aşa cum vom vedea, un criteriu al realităţii, de tipul celui propus de autorii citaţi, conţine — cu toată grija cu care pare făcută formularea — o ambiguitate esenţială, dacă este aplicat problemelor reale de care ne ocupăm acum."

în cele ce urmau se discuta şi problema specială tratată de Einstein, Podolsky şi Rosen. Se arăta astfel că urmările formalismului la reprezentarea unui sistem compus din două obiecte atomice în interacţiune, corespund argumentelor simple menţionate mai sus. Este vorba de relatările anterioare, legate de discuţia asupra aranjamentelor experimentale convenabile pentru studiul fenomenelor complementare. De fapt, orice pereche *p* şi *q* de variabile spaţio-temporale conjugate ascultă de regula multiplicării necomutative exprimată prin relaţia (2). Ele pot fi deci determinate nu numai cu impreciziile date de (3). Totuşi, diferenţa Ji — $ţ_{ă}$ dintre două coordonate spaţiale, care se referă la componente ale sistemului, va comuta cu suma *p!* -j- p_2 a componentelor de impuls corespunzătoare, aşa cum decurge direct din comutativitatea lui (fo cu p_2 şi a lui $ţ_2$ [ău] *Pi* De aceea atît ţi — q_2 cît şi *Pi* + p_z pot fi stabilite precis pentru o stare a sistemului complex.

Prin urmare putem prevedea fie valorile lui ţi fie ale lui p_{lt} dacă se determină t_a sau, respectiv, p_2 prin măsurări directe. Dacă, drept părţi ale sistemului considerăm o particulă şi o diafragmă de tipul celei schiţate în fig.5, vedem că posibilităţile de a specifica starea particulei prin măsurări pe diafragmă corespund tocmai situaţiei descrise la p. 67. Ea a fost discutată ulterior, la p. 77, unde s-a menţionat că, după ce particula a trecut prin diafragmă, avem în principiu posibilitatea de a alege între a măsura poziţia diafragmei sau impulsul ei. în fiecare caz, vom putea face prevederi în ceea ce priveşte observările ulterioare ale particulei. Aşa cum s-a subliniat în repetate rînduri, este esenţial în acest caz faptul că astfel de măsurări cer aranjamente experimentale reciproc-exclusive.

Argumentarea acestui articol era rezumată în pasajul următor :

„Din punctul nostru de vedere remarcăm că redactarea criteriului realităţii fizice menţionat mai sus, propus de Einstein, Podolsky şi Rosen, conţine o ambiguitate în ceea ce priveşte semnificaţia expresiei «fără a perturba într-un mod oarecare un sistem». într-adevăr, într-un caz de tipul celui tocmai considerat nu poate fi vorba de o perturbare mecanică a sistemului cercetat, în timpul ultimei etape critice a procesului de măsurare. Totuşi, chiar şi în această etapă este esenţială problema *influenţării condiţiilor înseşi care definesc tipurile posibile de previziuni legate de comportarea viitoare a sistemului.* Aceste condiţii constituie un element propriu din descrierea oricărui fenomen căruia i se poate atribui în mod convenabil termenul de «realitate fizică». Vedem deci că argumentarea autorilor menţionaţi nu poate justifica concluzia lor că descrierea mecanic-cuantică este principial incompletă. Dimpotrivă, această descriere, aşa cum rezultă discuţia de mai sus, poate fi caracterizată ca o folosire raţională a tuturor posibilităţilor pentru o interpretare fără ambiguitate a măsurilor. Ea este compatiblă cu

interacţiunea finită şi necontrolabilă dintre obiecte şi istrumentele de măsură din domeniul teoriei cuantice. De fapt, numai caracterul de excludere reciprocă propriu oricărui procedeu experimental, care permite definirea univocă de mărimi fizice complementare, este acela care face loc unor legi fizice noi, a căror coexistenţă poate părea la prima vedere de neîmpăcat cu principiile de bază ale ştiinţei. Tocmai această situaţie, cu totul nouă în cea ce priveşte descrierea fenomenelor fizice, este cea pe care trebuie să o caracterizeze noţiunea de complementaritate".

Recitind aceste pasaje, sînt pe deplin conştient de ineficacitatea exprimării. Ea trebuie să fi făcut foarte greoaie înţelegerea scopului argumentaţiei. Argumentarea dorea să scoată în evidenţă ambiguitatea esenţială, implicată de orice referiri la atributele fizice ale obiectelor, în cazul fenomenelor în care nu pot fi făcute distincţii nete între comportarea obiectelor însăşi şi interacţiunea lor cu instrumentele de măsură. în cele de faţă se face o relatare a discuţiilor avute în anii precedenţi cu Einstein, discuţii care au contribuit în deosebită măsură la familiarizarea noastră cu situaţia din fizica cuantică. Eu sper că pe baza ei se va putea totuşi contura mai limpede nevoia revizuirii totale a principiilor de bază în explicarea fizicii şi a reinstaurării ordinei logice în acest domeniu de experienţă.

Părerile personale ale lui Einstein din acea perioadă sînt prezentate într-un articol Fizică şi realitate, publicat în 1936 în „Journal of the Franklin Institute"[***]. El începe cu o expunere foarte clară a dezvoltării treptate a principiilor fundamentale din teoriile fizicii clasice şi a legăturii lor cu problema realităţii fizice. Einstein susţine aici că descrierea mecanic-cuantică trebuie considerată pur şi simplu ca un mijloc de a relata ceva despre comportarea medie a unui mare număr de sisteme atomice. Atitudinea sa de neîncredere în sensul că

*** **A. Einstein, „J. Franklin Inst.", 22X, 349, 1936.**

s-ar putea oferi astfel o descriere completă a fenomenelor individuale, este exprimată prin următoarele cuvinte: „Să cred aceasta este, fără contradicţii, logic posibil ; ea este însă atît de opusă spiritului meu ştiinţific încît nu pot să nu caut mai întîi o concepţie mai completă".

Chiar dacă o atitudine de acest fel ar părea serios cumpănită, ea implică fără îndoială o eliminare a întregii argumentări expuse în cele precedente, care şi-a propus să arate că în mecanica cuantică nu avem de-a face cu o renunţare arbitrară la analiza mai detaliată a fenomenelor atomice, ci cu recunoaşterea că o analiză de acest tip este *în principiu* exclusă. Individualitatea ciudată a efectelor cuantice în ceea ce priveşte înţelegerea unor evidente bine definite ne pune în faţa unei situaţii noi, nemai- întîlnite în fizica clasică. Ea este de neîmpăcat cu ideile obişnuite, potrivite pentru orientarea noastră într-o experienţă obişnuită. în această privinţă, teoria cuantică a cerut o nouă revizuire a principiilor de bază, pentru o folosire fără ambiguitate a noţiunilor elementare. Ea constituie o etapă de dezvoltare care, de la apariţia teoriei relativităţii, a fost atît de .caracteristică ştiinţei moderne.

în anii următori, aspectele filozofice ale situaţiei din fizica atomică au trezit interesul unor cercuri tot mai largi. Ele au fost în mod deosebit discutate la Copenhaga, la al doilea Congres internaţional pentru unitate în ştiinţă (iulie, 1936). Am încercat, într-o comunicare făcută cu acea ocazie[†††], să subliniez analogia ce există între aspectele epistemologice generate de limitele impuse de descrierea cauzală în fizica atomică şi situaţiile întîlnite în alte domenii ale cunoaşterii. O ţintă însemnată a unor astfel de paralele a fost să se atragă atenţia asupra nevoilor din multe domenii de

†††[11] **N. Bohr, „Philosophy of science“, 4, 289, 1937.**

interes general uman, în care există probleme analoge celor apărute în teoria cuantică. Se urmărea deci să se dea o bază mai familiară modului de exprimare aparent extravagant pe care l-au creat fizicienii pentru a face faţă greutăţilor lor acute.

Caracteristicile complementare apar evidente în psihologie şi au fost deja menţionate (cf. p. 71). Exemple de relaţii de acest fel pot fi indicate şi în biologie, în special la compararea punctelor de vedere mecanicist şi vitalist, în ceea ce priveşte tocmai această ultimă problemă, în raport cu observaţia, ea a format obiectul unui referat prezentat de mine, la Congresul internaţional de terapie cu radiaţii luminoase, ţinut la Copenhaga în 1932[###]. Printre altele, arătam că însuşi paralelismul psiho-fizic, prin dezvoltarea fizicii atomice, a dobîndit un sens mai larg decît cel luat în considerare de Leibnitz şi Spinoza. Aceasta ne obligă la o schimbare de atitudine în problema explicării, mai conformă cu înţelepciunea străbună, care spune că atunci cînd căutăm armonia vieţii, nu trebuie să uităm niciodată că, în drama existenţei, noi înşine sîntem atît actori, cît şi spectatori.

Explicaţii de acest fel pot trezi la mulţi impresia unui misticism profund, străin spiritului ştiinţific ; din această cauză la Congresul sus-menţionat, din 1936, am căutat să combat o astfel de înţelegere greşită şi să explic că singura problemă ce rămînea era aceea a efortului necesar clarificării, în fiecare domeniu de cunoaştere, a condiţiilor în care se realizează analiza şi sinteza fenomenelor. Mă tem şi azi că am avut puţin succes în a convinge pe ascultătorii mei în această privinţă. Pentru ei, dezacordul dintre fizicieni înşişi era un motiv firesc de scepticism în ceea ce priveşte explicarea fenomenelor naturii.

într-o nouă discuţie cu Einstein, la Princeton, în

Il-e Congres Internaţional de la Lumiere, **Copenhague, 1932 (retipărită in prezentul volum, p. 15).**

1937, am avut o controversă amuzantă cu privire la poziţia pe care Spinoza ar fi luat-o dacă ar fi trăit să vadă progresul din zilele noastre. Eu am reamintit din nou cu fermitate, însemnătatea unei atenţii deosebite în privinţa tuturor problemelor de terminologie şi dialectică.

Aceste aspecte ale situaţiei au fost discutate în mod special la un Congres de la Varşovia, din 1938, pregătit de Institutul Internaţional de Cooperare Intelectuală al Ligii Naţiunilor[§§§]. în anii precedenţi fizica cuantică cunoscuse un progres deosebit datorită unui număr de descoperiri fundamentale privind constituţia şi proprietăţile nucleului atomic. De asemenea se realizează însemnate progrese ale formalismului matematic, ţinîndu-se seama de cerinţele teoriei relativităţii. în ultima privinţă, ingenioasa teorie cuantică a electronului, dată de Dirac, oferea cea mai reliefată ilustrare a capacităţii şi fertilităţii modului de reprezentare prin metoda mecanicii cuantice. De fapt, în fenomenele de creare şi de anihilare de perechi de ioni sîntem strîns legaţi de aspectele neclasice ale statisticii cuantice, exprimate în principiul de ecluziune. Acestea au impus o renunţare încă şi mai accentuată la o explicaţie folosind termenii unei reprezentări în imagini.

Totuşi, discuţia asupra problemelor epistemologice din fizica atomică atrăgea atenţia mai mult ca niciodată. în discutarea punctelor de vedere formulate de Einstein asupra incompletitudinii modului de descriere al mecanicii cuantice, m-am ocupat mai direct de probleme de terminologie. în legătură cu aceasta, am luptat, în special, contra unor fraze, care se găsesc adesea în literatura de fizică, de tipul „perturbarea fenomenelor prin observare" sau „crearea de atribute fizice la obiectele atomice prin măsurători". Astfel de fraze, ce pot servi pentru a reaminti paradoxurile aparente din teoria cuantică,

---

§§§*• ***New Theories in Physics,*** **Paris, 1938, p. 11.**

sînt în acelaşi timp capabile să producă confuzii, deoarece cuvinte de tipul „fenomene" şi „observaţii", ca şi „atribute" şi „măsurători", sînt folosite într-un sens compatibil numai cu limbajul obişnuit şi cu definiţia practică.

Eu am susţinut, ca o cale de exprimare mult mai corespunzătoare, aplicarea cuvîntului *fenomen* exclusiv pentru referiri la observaţiile obţinute în condiţii specificate, în care se include o relatare asupra întregului aranjament experimental. într-o astfel de terminologie, problema de observare este eliberată de orice complicaţie specială, deoarece, în experienţele reale, toate observaţiile sînt exprimate în relatări clare, care se referă de exemplu la înregistrarea punctului în care un electron ajunge pe o placă fotografică. Mai mult, un limbaj de acest tip este convenabil tocmai pentru a sublinia că interpretarea fizică convenabilă a formalismului simbolic al mecanicii cuantice are semnificaţie numai la unele preziceri cu caracter determinist sau statistic. Aceste preziceri sînt legate de fenomenele individuale, care apar în condiţii definite prin noţiuni din fizica clasică.

în ciuda diferenţelor dintre problemele fizice, care au dat naştere teoriei relativităţii şi, respectiv, teoriei cuantice, o comparaţie a aspectelor pur logice ale argumentărilor relativiste şi ale celor complementare scoate însă în evidenţă analogii clare în ceea ce priveşte renunţarea la semnificaţia absolută a atributelor fizice obişnuite ale obiectelor. De asemenea, neluarea în considerare a constituţiei atomice a instrumentelor de măsură însăşi în redarea experienţei reale este la fel de caracteristică pentru aplicaţiile relativităţii şi teoriei cuantice. Valoarea redusă a cuantei de acţiune, în comparaţie cu acţiunile implicate în experienţele obişnuite, care includ aranjarea şi manevrarea aparatelor fizice, este tot aşa de esenţială în fizica atomică ca şi numărul enorm de atomi componeriţi ai lumii pentru teoria relativităţii generalizate. Această ultimă teorie, aşa cum adesea s-a remarcat, cere ca dimensiunile aparatelor

pentru măsurarea unghiurilor să poată fi făcute mici în comparaţie cu raza de curbură a spaţiului.

La congresul de la Varşovia am discutat şi utilizarea în teoria cuantică şi în relativitate a unui simbolism care nu este reprezentabil direct :

„Chiar şi formalismele, care în ambele teorii, în conformitate cu scopul lor, asigură un mijloc corespunzător pentru înţelegerea tuturor experienţelor imaginabile, prezintă analogii profunde. De fapt, simplitatea uimitoare a generalizării teoriilor fizicii clasice, care se obţine prin folosirea geometriei multidimensionale şi, respectiv, a algebrei necomutative, se bazează în ambele cazuri în esenţă prin introducerea simbolului convenţional K-1. în adevăr, la o examinare mai atentă, caracterul tot atît de tipic în teoria relativităţii, cît este şi în mecanica cuantică. în această privinţă este o problemă de pură tradiţie că prima este considerată mai mult ca o completare a fizicii clasice. Ea constituie un prim pas fundamental în revizuirea profundă a concepţiilor noastre în ceea ce priveşte compararea observaţiilor, revizuire pe care ne-a impus-o dezvoltarea modernă a fizicii.

Este desigur adevărat că în fizica atomică sîntem confruntaţi cu un număr de probleme fundamentale nerezolvate. Mă refer în special la relaţia intimă dintre unitatea elementară de sarcină electrică şi cuanta universală de acţiune ; însă aceste probleme nu sînt legate de aspectele epistemologice discutate aici, mai mult decît sînt corelate corectitudinea argumentării relativiste de soluţionarea problemelor cosmologice nerezolvate pînă acum. Atît în relativitate, cît şi în teoria cuantică avem de-a face cu aspecte noi ale analizei şi sintezei ştiinţifice. în această privinţă este interesant de notat că, chiar în marea epocă a filozofiei critice din secolul precedent, se vorbea numai de măsura în care ar putea fi formulate argumente apriorice în privinţa corectitudinii coordonatelor spaţio-temporale şi conexiunii cauzale a experienţei. Nu putea fi însă

vorba de generalizările raţionale sau de limitările proprii din astfel de domenii de gîndire omenească.

Deşi în anii mai apropiaţi am avut dîteva ocazii de a mă întîlni cu Einstein, continuarea discuţiilor, de la care eu am primit întotdeauna impulsuri noi, nu a dus la o unitate de vederi în problemele epistemologice din fizica atomică. Părerile noastre opuse sînt poate consemnate mai clar într-un material recent din *Dialectica*[11], în care se face o discuţie generală a acestor probleme. înţelegînd, totuşi, că multe piedici în înţelegerea reciprocă într-o problemă în care modul de abordare şi fondul pot să influenţeze atitudinea oricui, am întîmpinat cu bucurie această ocazie pentru o expunere mai pe larg a progresului prin care, după părerea mea, s-a depăşit o veritabilă criză în fizică. Lecţia pe care am primit-o în acea etapă s-ar părea că ne-a dus cu un pas decisiv înainte, în lupta neîncetată pentru armonie între conţinut şi formă. Ea ne-a arătat încă odată că nici un conţinut nu poate fi înţeles fără o schemă formală şi că orice formă, oricît de utilă s-a dovedit pînă acum, poate fi găsită prea îngustă pentru a cuprinde noi experienţe.

Cu siguranţă că, într-o situaţie de felul acesta, era foarte greu să ajungi la o înţelegere reciprocă nu numai între filozofi şi fizicieni, ci chiar între fizicienii diferitelor şcoli.

[17] **N. Bohr, „Dialectica", 1, 312, 1948.**

Dificultăţile îşi aveau nu rareori rădăcinile în preferinţe pentru folosirea unui anume limbaj, care sugera prin el însuşi linia diferită după care s-a făcut abordarea problemei. La Institutul din Copenhaga, în anii aceia veneau pentru discuţii un număr de tineri fizicieni din diferite ţări. în discuţii, atunci cînd ne găseam în încurcătură, pentru a ne odihni, întocmeam teorii glumeţe. Printre acestea figura vechea poveste a celor două tipuri de adevăr. De un tip aparţin afirmaţiile care sînt atît de simple şi clare încît aserţiunile opuse, în mod evident, nu pot fi apărate. Adevărurile de celălalt tip, aşa-

numitele „adevăruri profunde[1]*, sînt constituite din afirmaţii, la care afirmaţiile contrare cuprind de asemenea adevăruri profunde. Progresul într-un domeniu nou se produce obişnuit trecînd prin etape în care haosul este înlocuit treptat prin ordine ; dar nu este mai puţin adevărat că în etapele intermediare, în care adevărurile profunde abundă, lucrul este realmente excitant şi ne stimulează imaginaţia pentru găsirea unui sprijin mai solid. în astfel de străduinţe pentru căutarea unui echilibru convenabil între seriozitate şi glumă, însăşi personalitatea lui Einstein a constituit un deosebit exemplu. Ea îmi apare de exemplu atunci cînd îmi exprim convingerea că printr-o cooperare fructuoasă, unică, a unei întregi generaţii de fizicieni ne apropiem de o etapă finală în care ordinea logică ne permite într-o mare măsură să eliminăm adevărurile profunde. Sper că afirmaţia va fi interpretată în sensul lui Einstein şi va servi în apărarea mea pentru unele afirmaţii din paginile precedente.

Discuţiile cu Einstein, care au format tema acestui articol s-au întins pe mai mulţi ani. Aceşti ani au fost martorii unui mare progres în domeniul fizicii atomice. Fie că întîlnirile noastre au fost în realitate lungi, fie că au fost scurte, ele mi-au lăsat în minte totdeauna o impresie profundă şi durabilă. De aceea, cînd am scris acest articol pot spune că am discutat tot timpul cu Einstein, chiar şi în cazul tratării unor subiecte aparent foarte îndepărtate de problemele speciale dezbătute în întîlnirile noastre. în ceea ce priveşte relatarea conversaţiilor, sînt desigur conştient că mă bazez numai pe propria mea memorie şi este foarte posibil ca multe aspecte ale dezvoltării teoriei cuantice, la care Einstein a jucat un rol atît de însemnat, să-i fi apărut lui însuşi într-o altă lumină. Cred totuşi că am reuşit să transmit impresia reală asupra importanţei ce o are pentru mine posibilitatea de a beneficia de

inspirația care rezultă pentru fiecare din contactul cu Einstein.

Unitatea cunoaşterii

1954

înainte de a încerca să răspundem la întrebarea dacă şi în ce măsură putem vorbi despre unitatea cunoaşterii, ar trebui să vedem ce înţeles are însuşi cuvîntul cunoaştere. Nu este intenţia mea să prezint un discurs academico-filo- zofic, pentru care nu aş avea pregătirea necesară. Fiecare om de ştiinţă se ciocneşte însă mereu de problema descrierii obiective a experienţei, prin aceasta înţelegînd exprimarea fără ambiguităţi. Instrumentul nostru de bază este desigur limbajul obişnuit, care serveşte necesităţilor vieţii de toate zilele şi relaţiilor sociale. Nu ne vom ocupa aici de originea limbajului, însă ne vor interesa posibilităţile lui pentru comunicările ştiinţifice şi în special problema menţinerii obiectivităţii în descrierea experienţei, atunci cînd experienţa iese din domeniul evenimentelor vieţii cotidiene.

Punctul cel mai important de înţeles este că orice cunoaştere se prezintă într-un sistem de noţiuni adaptat pentru a ţine seamă de experienţe anterioare şi că orice asemenea sistem se poate dovedi prea strimt pentru a putea cuprinde o experienţă nouă. Cercetarea ştiinţifică în multe domenii ale cunoaşterii cere din cînd în cînd abandonarea sau modificarea punctelor de vedere care mai înainte fuseseră considerate indispensabile în explicările logice deoarece se dovediseră foarte rodnice şi aparent cu posibilităţi de aplicare nelimitate. Deşi astfel de dezvoltări au

fost scoase la iveală din studiul diferitelor specialităţi, din ele se pot totuşi trage învăţăminte generale asupra importanţei problemei unităţii cunoaşterii. într-adevăr, lărgirea sistemului de noţiuni nu a condus numai la restabilirea ordinii în ramurile respective ale cunoaşterii, ci a dezvăluit de asemenea, în analiza şi sinteza experienţei, analogii între domenii de cunoaştere aparent deosebite, sugerînd posibilitatea unei descrieri obiective mai cuprinzătoare.

Prin sistem de noţiuni înţelegem pur şi simplu grupul de noţiuni care permite reprezentarea logică şi fără echivoc a relaţiilor dintre faptele experimentale. Posibilitatea unei descrieri mai cuprinzătoare apare şi în dezvoltarea istorică a logicii formale, în care dispar graniţele riguroase dintre aceasta şi studiile de semantică şi chiar de sintaxă filologică. Matematica a jucat un rol special, contribuind în mod hotărîtor la dezvoltarea gîndirii logice şi oferind totodată, prin abstracţiile ei bine definite, un nepreţuit ajutor în exprimarea armonioasă a relaţiilor funcţionale. Totuşi în discuţia noastră nu vom considera matematica pură ca o ramură separată a cunoaşterii, ci mai degrabă ca un rafinament al limbajului general, pe care îl înzestrează cu instrumente potrivite pentru a reprezenta relaţiile pentru care expresiile verbale obişnuite sînt imprecise şi greoaie, în legătură cu aceasta, poate fi subliniat faptul că numai prin evitarea referirii la un subiect concret (cum se face în vorbirea de toate zilele), utilizarea simbolurilor matematice asigură neechivocul definiţiilor cerute de o descriere obiectivă.

Dezvoltarea aşa-numitelor ştiinţe exacte, caracterizate prin stabilirea relaţiilor numerice dintre rezultatele măsurătorilor, a fost mult împinsă înainte cu ajutorul metodelor matematicii abstracte născute dintr-o continuă generalizare a construcţiilor logice. Această situaţie este ilustrată în mod special în fizică, care la început era înţeleasă ca o cunoaştere a naturii din care noi

înşine facem parte, însă care treptat a ajuns să studieze legile elementare care guvernează proprietăţile materiei lipsite de viaţă. Necesitatea de a fi mereu preocupaţi de problema descrierii obiective a influenţat puternic atitudinea şcolilor filozofice în decursul timpului. în zilele noastre exploatarea unor noi domenii experimentale a relevat posibilităţi nebănuite de aplicare a unora dintre cele mai elementare noţiuni ale noastre şi astfel ne-a dat o lecţie epistemologică cu implicaţii îm probleme mult mai largi decît în domeniul fizicii. De aceea poate ar fi convenabil să începem discuţia cu o scurtă trecere în revistă a acestei dezvoltări.

Am merge poate prea departe dacă am aminti în detaliu cum, prin eliminarea ideilor de cosmologie mitologică şi a. argumentelor referitoare la scopul propriilor noastre acţiuni, a fost construită o schemă a mecanicii, pe baza lucrării de pionierat ale lui Galilei, schemă adusă apoi la desăvîrşire prin remarcabilele lucrări ale lui Newton. înainte de toate, principiile mecanice ale lui Newton îşi propun să clarifice problema cauzei şi efectului. Cu alte cuvinte, plecînd de la o anumită stare a sistemului fizic, definită la un anumit moment prin anumite cantităţi măsurabile, să se poată prezice starea respectivului sistem la orice alt moment următor. Ştim cu toţii cum o descriere deterministă sau cauzală de acest fel, conduce la o concepţie mecanicistă asupra naturii ; un astfel de mod de a descrie fenomenele ajunge să constituie modul ideal de explicare ştiinţifică în orice domeniu al cunoaşterii indiferent de calea pe care a fost obţinută cunoaşterea respectivă. în legătură cu aceasta este foarte important faptul că studiul unui domeniu larg de experienţe fizice a condus la necesitatea unei analize mai atente a problemei observării.

în limitele foarte largi ale domeniului ei de aplicare,, mecanica clasică oferă o descriere obiectivă, în sensul că se bazează pe un mod bine definit de a folosi imaginile şi ideile referitoare la evenimentele vieţii cotidiene. Idealizările folosite de mecanica lui Newton, oricît de raţionale ar părea ele, ies de fapt cu mult din cadrul experienţelor pentru care sînt convenabile noţiunile noastre elementare. Astfel, o utilizare adecvată a noţiunilor de spaţiu absolut şi timp absolut este strîns legată de propagarea instantanee a luminii, care ne permite să localizăm corpurile în jurul nostru independent de viteza lor şi să aranjăm evenimentele în timp într-o succesiune unică. Totuşi, încercarea de a da o descriere logică şi consistentă fenomenelor electromagnetice şi optice a arătat că observatorii care se deplasează cu viteze mari unii faţă de alţii, stabilesc coordonate diferite pentru acelaşi eveniment. Aceşti observatori vor observa nu numai poziţii şi forme diferite pentru corpurile solide, dar evenimente care au loc în diferite puncte ale spaţiului şi care apar simultane pentru unul dintre ei, vor fi considerate de către un altul ca avînd loc la momente diferite.

Studiul acesta al influenţei punctului de vedere al observatorului asupra descrierii fenomenelor fizice nu numai că nu a încurcat şi complicat observaţiile, dar s-a dovedit un ghid preţios în enunţarea legilor generale ale fizicii, comun tuturor observatorilor. Menţinînd ideea determinismului, însă bazînd-o exclusiv pe dependenţa dintre măsurători fără echivoc, care în cele din urmă se referă la ■coincidenţa dintre evenimente, Einstein a reuşit să recunoască şi să generalizeze întregul edificiu al fizicii clasice, conferind imaginii noastre despre lume o unitate care a depăşit toate aşteptările. în teoria relativităţii generalizate descrierea se bazează pe metrica unui spaţiu-timp cuadri- dimensional curbat, descriere care ţine seama în mod automat de efectele gravitaţionale.

Un rol aparte îl joacă viteza semnalelor luminoase care reprezintă limita superioară pentru orice mărime compatibilă cu noţiunea fizică de viteză. Introducerea unor astfel de abstracţii matematice nu prea familiare, însă bine definite, elimină orice ambiguitate şi, mai mult, constituie o instructivă ilustrare a faptului că o lărgire a sistemului de noţiuni oferă mijloacele pentru eliminarea elementelor subiective şi ajută la dezvoltarea descrierii obiective.

Noi şi neaşteptate aspecte ale problemei observării au fost scoase la iveală de cercetările structurii atomice a materiei. După cum se ştie, ideea divizibilităţii limitate a substanţei, introdusă pentru explicarea persistenţei proprietăţilor ei caracteristice în ciuda varietăţii fenomenelor naturale, a apărut încă din antichitate. Totuşi, aproape pînă în zilele noastre astfel de idei enau considerate ipotetice, în sensul că ele păreau imposibile de confirmat direct prin observaţii. Lucrul acesta s-ar datora faptului că organele noastre de simţ, ca şi instrumentele de care ne folosim, ar fi prea, grosolane, ele însele fiind constituite dintr-un număr foarte mare de atomi. Totuşi, datorită progresului deosebit realizat în chimie şi fizică în secolul trecut, ideile atomismului s-au dovedit foarte fructuoase. în particular, aplicarea directă a mecanicii clasice la interacţiunile atomilor şi moleculelor în timpul mişcării lor neîntrerupte a condus la o înţelegere generală a principiilor termodinamicii.

în secolul nostru, studiul noilor proprietăţi descoperite ale materiei, de tipul radioactivităţii naturale, a confirmat în mod convingător bazele teoriei atomice. în particular, datorită dezvoltării sistemelor de amplificare, a devenit posibil să se studieze fenomene esenţial dependente de atomi izolaţi şi chiar să se obţină o cunoaştere extensivă a structurii sistemelor atomice. Primul pas a fost recunoaşterea faptului că electronul este unul din constituienţii tuturor substanţelor. Un alt pas

important în înţelegerea structurii atomului a fost făcut prin descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic. Nucleul, deşi are un volum extrem de mic, totuşi conţine practic toată masa atomului. Invarianţa proprietăţilor elementelor în procese fizice şi chimice obişnuite se explică direct prin aceea că deşi în astfel de procese electronii de legătură sînt puternic Influenţaţi, totuşi nucleul rămîne neschimbat.

Rutherford a fost acela care a deschis un nou domeniu de cercetare al atomului prin demonstrarea transmutabili- tăţii atomilor sub acţiunea unor forţe foarte puternice. Acest nou domeniu constituie cu adevărat alchimia modernă şi, după cum se ştie, el a condus la posibilitatea eliberării unei imense cantităţi de energie acumulată în nucleele atomice.

Deşi multe din proprietăţile fundamentale ale materiei au fost explicate pe baza unei imagini simple a atomului, totuşi încă de la început era evident că ideile mecanicii clasice şi ale electromagnetismului nu erau suficiente pentru explicarea stabilităţii structurii atomice. Această stabilitate se manifestă prin anumite proprietăţi specifice ale elementelor. Cheia pentru lămurirea acestei probleme a dat-o descoperirea cuantei universale de acţiune de către Planck încă în primul an al secolului nostru, descoperire la care a ajuns printr-o analiză profundă a legilor radiaţiei termice. Descoperirea lui Planck a dezvăluit o comportare a proceselor atomice complet diferită de concepţiile mecaniciste asupra naturii. A devenit clar că teoriile fizicii clasice sînt idealizări valabile numai la descrierea acelor fenomene pentru care toate mărimile, a căror dimensiune este acţiunea, să fie suficient de mari pentru a se putea neglija existenţa cuantelor. Această condiţie este pe deplin îndeplinită la fenomenele care au loc la scara obişnuită. La scară atomică întîlnim însă fenomene şi legi de un tip cu totul nou, care încalcă în mod evident descrierea deterministă.

O generalizare raţională a fizicii clasice, care să

ţină seama de existenţa cuantelor şi în care să se păstreze totuşi interpretarea univocă a datelor experimentale privind masa şi sarcina electrică a electronului şi nucleului este o problemă foarte dificilă. A trebuit să se concentreze eforturile unei întregi generaţii de fizicieni teoreticieni pentru ca, treptat, să se ajungă la o descriere consistentă şi, în limite foarte largi, destul de completă a fenomenelor atomice. Această descriere foloseşte un formalism matematic în care în locul variabilelor din teoriile fizicii clasice, au fost introduse simboluri care conţin constanta lui Planck şi care sînt supuse unor reguli de înmulţire necomutativă. Datorită caracterului propriu acestor abstracţii matematice, formalismul nu permite nici un fel de interpretare intuitivă (cu care sîntem noi obişnuiţi), însă tinde să stabilească relaţii între observaţiile obţinute în anumite condiţii bine definite. Relaţiile acestea au în mod inerent un caracter statistic, datorită faptului că într-un dispozitiv experimental pot avea loc diferite procese cuantice individuale.

Cu ajutorul formalismului mecanicii cuantice s-a putut sistematiza şi explica un material imens de date privind proprietăţile fizice şi chimice ale materiei. Mai mult decît atît, prin adaptarea formalismului la cerinţele teoriei relativităţii, a fost posibil să se ordoneze în limite destul de largi datele noi care s-au acumulat şi se acumulează foarte rapid în domeniul particulelor elementare şi al nucleului atomic. în ciuda uimitoarei posibilităţi de a explica anumite fenomene, mecanica cuantică a dat naştere la anumite îndoieli în mintea multor fizicieni şi filozofi, prin îndepărtarea ei radicală de explicaţiile fizice obişnuite şi în special prin renunţarea la însăşi ideea de determinism. Se ridică întrebarea dacă nu cumva era vorba doar de un expedient folosit temporar, sau fizicienii se aflau în faţa unei noi metode de a descrie în mod obiectiv realitatea, adică dacă se făcuse în adevăr un mare şi irevocabil pas înainte. Clarificarea acestei probleme cerea într-adevăr o revizuire radicală a

bazei pe care se sprijinea descrierea şi înţelegerea experienţei fizice.

In legătură cu aceasta, trebuie să recunoaştem înainte de toate că şi în cazul în care fenomenele ies din limitele aplicabilităţii teoriilor fizicii clasice, toate caracteristicile instalaţiilor experimentale, ca şi descrierea rezultatelor observaţiilor, trebuie să se facă într-o formă simplă, într-un limbaj obişnuit, sprijinit pe o terminologie tehnică de specialitate. Aceasta este o cerinţă logică şi clară, deoarece însuşi cuvîntul „experiment “ se referă la acele situaţii în care noi putem comunica altora ceea ce am făcut şi ce am aflat. Totuşi, diferenţa esenţială dintre fizica clasică şi cea cuantică constă în aceea că, pentru prima, interacţiunea dintre obiect şi aparatul de măsură poate fi neglijată sau compensată într-un fel, în timp ce pentru fizica cuantică această interacţiune face parte integrală din fenomenul studiat. Integritatea esenţială a fenomenului cuantic îşi găseşte o expresie logică în faptul că orice încercare bine definită de a diviza fenomenul cere o modificare a instalaţiei experimentale incompatibilă cu apariţia fenomenului însuşi.

In particular, este imposibilă realizarea unui control al interacţiunii dintre obiectele atomice şi instrument, control absolut necesar pentru definirea condiţiilor experimentale. Acest lucru face ca să nu fie posibilă simultan, localizarea în spaţiul-timp şi aplicarea legilor de conservare ale dinamicii pe care se bazează descrierea deterministă din fizica clasică. Orice utilizare univocă a noţiunilor de spaţiu şi timp presupune o anumită instalaţie experimentală în care are loc un transfer de impuls şi energie, necontrolabil în principiu, în raport cu o scală fixă şi cu ceasuri sincronizate aşa cum se cere pentru definirea sistemului de referinţă. Invers, descrierea fenomenelor care sînt caracterizate prin legile conservării energiei şi impulsului implică în principiu renunţarea la o localizare exactă în spaţiu

şi timp. Aceste fapte îşi găsesc o exprimare cantitativă în relaţiile de incertitudine ale lui Heisenberg. Acestea exprimă posibilitatea reciprocă de a alege variabilele cinematice

sau cele dinamice pentru definirea stării unui sistem fizic, în concordanţă cu caracterul formalismului mecanicii cuantice, astfel de relaţii nu pot fi interpretate ca atribute ale obiectelor, aşa cum ar fi în fizica clasică. Aici avem de-a face cu condiţii care se exclud reciproc, pe de o parte utilizarea univocă a noţiunilor de spaţiu şi timp şi pe de alta, legile de conservare ale dinamicii.

în legătură cu aceasta, se vorbeşte uneori de faptul că „observaţiile produc o perturbare a fenomenului" sau că „prin măsurători se creează atribute fizice obiectelor atomice". Astfel de fraze pot să conducă la confuzii, deoarece cuvinte ca „fenomen" şi „observaţie", ca şi „atribute" şi „măsurători", sînt utilizate aici într-un sens deosebit, incompatibil cu limbajul obişnuit şi cu definiţiile lor curente. Pe linia unei descrieri obiective este desigur mai potrivit să se folosească cuvîntul „fenomen" numai dacă este vorba de observaţii obţinute în condiţii determinate, a căror descriere include considerarea întregului aranjament experimental. într-o astfel de terminologie, problema observării în fizica cuantică este eliberată de orice complicaţii. în plus, terminologia astfel introdusă ne aminteşte că fiecare fenomen atomic este *închis,* în sensul că observarea sa se bazează pe înregistrări obţinute cu ajutorul unui şir de aparate de amplificare cu o funcţionare ireversibilă, cum ar fi, de exemplu, imaginea pe o placă foto- ?rafică, provocată de pătrunderea electronilor în emulsie, n legătură cu aceasta este important să se înţeleagă că formalismul mecanicii cuantice se poate aplica numai la astfel de fenomene închise. El apare deci ca o generalizare raţională a fizicii clasice, în care fiecare etapă din desfăşurarea evenimentului este descrisă cu ajutorul unor cantităţi măsurabile.

Libertatea de a experimenta din fizica clasică există desigur şi în fizica cuantică, unde îi corespunde de fapt posibilitatea de a alege aranjamentul experimental care se potriveşte cu structura matematică a formalismului mecanicii cuantice. Faptul că, în general, unul şi acelaşi aranjament experimental poate da rezultate diferite este uneori plastic exprimat ca fiind „alegerea făcută de natură" între aceste posibilităţi. Nu este nevoie să mai spunem că o astfel de frază nu face nici o aluzie la o personificare a naturii, ea exprimă pur şi simplu imposibilitatea de a putea spune cu certitudine, aşa cum eram obişnuiţi, modul în care va evolua un anumit fenomen indivizibil şi închis. Aici deducţiile logice nu permit mai mult decît obţinerea probabilităţilor relative de apariţie a fenomenelor individuale în anumite condiţii experimentale date. Mecanica cuantică apare astfel ca o generalizare consistentă a modului de descriere mecanic-determinist, pe care îl conţine ca o limită asimptotică în cazul fenomenelor fizice care au loc la o scară destul de mare pentru a putea neglija cuanta de acţiune.

Cea mai deosebită trăsătură a fizicii atomice este dată de noua corelaţie dintre fenomenele observate în diferite condiţii experimentale pentru descrierea cărora ar fi necesar să se introducă noţiuni elementare noi. Desigur aceste experienţe ar părea contradictorii dacă am încerca să ne imaginăm evoluţia proceselor atomice pe cale clasică. Ele ar trebui să fie considerate complementare, în sensul că reprezintă cunoştinţe la fel de importante despre sistemele atomice şi că, împreună, rezultatele care le conţin epuizează aceste cunoştinţe. Noţiunea de complementaritate nu conţine nici o îndepărtare de la poziţia noastră de observatori obiectivi ai naturii, ci trebuie privită ca o expresie logică a situaţiei noastre referitoare la descrierea obiectivă în acest domeniu de experienţă. Recunoaşterea că interacţiunea dintre instrumentele de măsură şi sistemul fizic care

trebuie cercetat constituie o parte integrantă a fenomenelor cuantice a dezvăluit o neaşteptată limitare a concepţiilor mecaniciste despre natură, caracterizate prin atribuirea unor proprietăţi separate sistemului fizic dat. Ea ne-a forţat ca în organizarea experienţei să fim deosebit de atenţi la condiţiile de observare.

Să ne reîntoarcem la mult dezbătută problemă a cerinţelor legate de explicarea fizică a fenomenelor. Să ne amintim că mecanica clasică implica renunţarea la o cauză pentru mişcarea uniformă. în afară de aceasta, teoria relativităţii ne arată că argumentele de invarianţă şi echivalenţă trebuie să fie considerate drept categorii pentru o explicare raţională. în mod similar în descrierea complementară a fizicii cuantice avem de-a face cu o generalizare consistentă (şi aici autorul foloseşte, *selfconsistent. — N.T.).* Aceasta permite includerea unor regularităţi decisive pentru a putea considera proprietăţile fundamentale ale materiei, regularităţi care însă depăşesc limitele unei descrieri strict deterministe. Istoria fizicii a demonstrat că explorarea unor domenii experimentale mai largi a dezvăluit existenţa unor nebănuite limitări conţinute de ideile obişnuite şi a indicat căile noi de urmat pentru restaurarea ordinei logice-

După cum am arătat, lecţia epistemologică pe care ne-o oferă dezvoltarea fizicii atomice, ne aminteşte şi de alte situaţii similare, referitoare la descrierea şi înţelegerea experienţei în alte domenii decît cel al fizicii. Aceasta ne permite să scoatem în evidenţă trăsăturile lor comune şi astfel să ajungem la unitatea cunoaşterii.

Prima problemă cu care ne întîlnim de îndată ce părăsim domeniul fizicii este problema locului organismelor vii, în descrierea generală a fenomenelor naturale. La început nu se făcea o netă distincţie între materia însufleţită şi cea

neînsufleţită. Se ştie că Aristotel, subliniind integritatea şi unitatea organismelor vii, îşi expunea un punct al său de vedere contrar celui al atomiştilor. Caracteristicile la care se referă Aristotel erau finalitatea şi potenţa. El se folosea de aceste noţiuni chiar şi la discuţia bazelor mecanicii. Totuşi, ca urmare a importantelor descoperiri în anatomie şi fiziologie din timpul Renaşterii şi, în special, a apariţiei mecanicii clasice, care folosea o descriere strict deterministă şi de unde lipsea cu desă- vîrşire orice referire la un scop, s-a născut concepţia mecanicistă asupra naturii. Un mare număr de funcţii organice puteau fi explicate pe baza acelor proprietăţi fizico-chimice ale materiei, care pot fi lămurite şi cu ajutorul ideilor atomice simple. Este adevărat că structura şi funcţionarea organismelor implică o ordonare a proceselor atomice, care uneori pare a fi greu de pus în acord cu legile termodinamicii care cer ca atomii să constituie un sistem izolat în care se tinde lent către dezordine. Dacă, totuşi, se ţine seama că energia liberă necesară menţinerii şi dezvoltării sistemelor organice este extrasă în mod continuu din mediul înconjurător prin hrană şi respiraţie devine clar că nu apare aici nici un fel de violare a legilor generale ale fizicii.

în ultimele decade s-au făcut importante progrese în ceea ce priveşte cunoaşterea structurii şi funcţionării organismelor ; a devenit clar că legile fizicii cuantice joacă şi aici un rol important. Astfel de legi guvernează de exemplu stabilitatea deosebită a structurilor moleculare complexe, care formează principalii constituienţi ai celulei, direcţi legaţi de proprietăţile ereditare ale speciei. Cercetările asupra mutaţiilor produse prin expunerea organismelor la acţiunea radiaţiilor penetrante oferă alte exemple de aplicare a legilor statistice ale mecanicii cuantice. De asemenea, s-a găsit că sensibilitatea organelor de simţ, atît de importantă pentru păstrarea integrităţii organismului, se apropie de nivelul proceselor cuantice individuale, iar mecanismul procesului de amplificare joacă un

rol important în special la transmiterea mesajelor nervoase. Ca rezultat al acestor descoperiri, sîntem din nou conduşi către o înţelegere mecanicistă a fenomenelor biologice, dar în- tr-un sens cu totul nou. în acelaşi timp a devenit importantă problema dacă o comparaţie între organismele vii şi sistemele complexe de tipul agregatelor industriale moderne sau calculatoarele electronice oferă o bază pentru descrierea proceselor autoreglabile pe care le prezintă organismele vii.

întorcîndu-ne la lecţia epistemologică generală pe care ne-a oferit-o fizica atomică, trebuie să înţelegem, în primul rînd, că procesele închise studiate în fizica cuantică nu prezintă nici o analogie directă cu funcţiile biologice, pentru întreţinerea cărora se cere un schimb continuu de materie şi energie între organism şi mediul înconjurător. în afară de aceasta, orice aparatură experimentală care ar permite controlul unor astfel de funcţiuni, la gradul de precizie cerut de descrierea lui în limbajul fizicii, ar împiedica desfăşurarea normală a vieţii. însuşi acest lucru ne poate sugera de ce în general explicaţiile date în problema vieţii organice, oscilează între concepţiile mecaniciste şi cele finaliste. De fapt, aşa după cum în descrierea fenomenelor atomice elementul primar, care nu poate şi nu trebuie explicat, este cuanta de acţiune, la fel şi în biologie, unde avem de-a face cu existenţa şi evoluţia organismelor, elementul de bază este noţiunea de viaţă. în ceea ce priveşte organismele vii, noi putem să ne dăm mai bine seama de acest lucru, deoarece noi înşine aparţinem aceleiaşi naturi şi cunoştinţele le obţinem pe o cale mai directă. Trebuie să recunoaştem că cerinţele unei descrieri obiective se realizează pe o cale complementară caracteristică, în care anumite noţiuni provin din domeniul fizicii şi chimiei ; însă noţiunile care se referă direct la integritatea organismului, deşi ies din cadrul acestor ştiinţe, se folosesc adesea în cercetările de biologie. Lucrul cel mai important este faptul că numai renunţînd la o definiţie a

vieţii, în sensul obişnuit al cuvîntului, vom putea ţine seama de caracteristicile ei.

Desigur, în biologie, ca şi în fizică, noi ne păstrăm poziţia noastră de observatori independenţi şi problema care rămîne este numai aceea a diferitelor condiţii necesare înţelegerii logice a experienţei. Aceasta se aplică atît comportărilor înnăscute, cît şi celor condiţionate, la animale şi oameni, şi sîntem astfel în mod natural conduşi către noţiunile psihologice. Folosirea acestor noţiuni este greu de evitat chiar şi atunci cînd e vorba de o abordare pretins comportamentistă a obiectului viu. Mai mult, însăşi noţiunea de conştiinţă trebuie introdusă atunci cînd avem de-a face cu o comportare de un grad atît de înalt de complexitate a organismului individual, încît pentru descrierea ei este necesară introspecţia. Avem de-a face aici cu folosirea reciproc-exclusivă a cuvintelor instinct şi raţiune, ilustrată de gradul în care comportarea instinctivă este oprimată în societatea umană. Chiar în psihologie, atunci cînd încercăm să descriem propriile noastre stări sufleteşti, rămîne încă posibil să îndeplinim în mare măsură cerinţele unei observări obiective, deşi întîmpinăm mari dificultăţi legate de autoobservaţie. în legătură cu aceasta, ar fi interesant de amintit că în fizică, chiar de la primele ei începuturi, era posibil să facem apel la fenomenele vieţii de toate zilele, care permiteau o descriere cauzală simplă, în timp ce pentru descrierea stărilor noastre sufleteşti, s-a folosit, încă de la formarea limbajului, o descriere complementară. De fapt, bogata terminologie adoptată pentru astfel de descrieri nu este folosită spre a urmări desfăşurarea la nesfîrşit a evenimentelor, ci mai degrabă pentru a indica experienţe sau stări care se exclud reciproc. Aceste experienţe sînt caracterizate prin diferitele moduri în care se poate separa conţinutul asupra căruia ne concentrăm atenţia şi fondul, care este desemnat de cuvintele „noi înşine “.

Un exemplu foarte potrivit îl constituie relaţia

dintre situaţiile în care noi chibzuim asupra motivelor acţiunilor noastre şi cele în care este vorba de voinţă. în viaţa de toate zilele o astfel de separare se realizează mai mult sau mai puţin în mod intuitiv. însă în psihiatrie sînt bine cunoscute simptome de tipul „confuziei eurilor", care pot conduce la dezintegrarea personalităţii. Utilizarea unor caracteristici aparent contradictorii, referitoare la diferite aspecte la fel de importante ale sufletului omenesc, prezintă, desigur, o remarcabilă analogie cu situaţia din fizica atomică, unde fenomenele complementare cer pentru a fi definite referirea la diferite noţiuni elementare. Mai înainte de toate, însuşi cuvîntul „conştient", care se referă la experienţe capabile să fie păstrate în memorie, sugerează o comparaţie între experienţe conştiente şi observaţii fizice, într-o astfel de analogie imposibilitatea de a da un con-ţinut neechivoc ideii de subconştient corespunde imposibilităţii de a da o interpretare intuitivă formalismului mecanicii cuantice. Se poate spune că tratamentul psihoana- litic al nevrozelor restaurează un echilibru în conţinutul memoriei pacientului nu atît prin faptul că îl ajută să-şi sondeze subconştientul, ci mai curînd deoarece îi furnizează noi experienţe conştiente.

Din punct de vedere biologic noi putem interpreta caracteristicile fenomenelor psihice numai considerînd că fiecare experienţă conştientă corespunde unei impresii reziduale din organism. Aceasta ar corespunde unei înregistrări, ireversibile în sistemul nervos, a rezultatului proce-selor care nu sînt deschise introspecţiei şi care ar fi greu de adoptat la o definire exhaustivă, într-o descriere mecanicistă. Desigur astfel de înregistrări în care interacţio- nează numeroase celule nervoase, sînt esenţial diferite de structura constantă a celulelor izolate ale organismului care sînt legate de reproducerea genetică. Din punct de vedere finalist, am putea sublinia nu numai utilitatea înregistrărilor permanente care se manifestă prin influenţa asupra reacţiilor noastre

provocate de stimuli, ci şi importanţa faptului că generaţiile următoare nu sînt împovărate de experienţele anterioare asupra individului. Pentru această generaţie este esenţială reproducerea acelor proprietăţi ale organismului care s-au dovedit utile pentru acumularea şi utilizarea cunoştinţelor. în orice încercare de a duce mai departe cercetarea trebuie, desigur, să fim pregătiţi a în- tîmpina dificultăţi din ce în ce mai mari. E destul de sugestiv faptul că noţiunile simple de fizică îşi pierd cu atît mai mult aplicabilitatea cu cît ne apropiem mai mult de acele trăsături ale organismelor vii care sînt legate de caracteristicile lumii noastre sufleteşti.

Pentru a ilustra acest raţionament am putea să ne referim pe scurt la vechea problemă a libertăţii voinţei. Aşa după cum s-a mai spus, este evident faptul că însuşi cu- vîntul voinţă este indispensabil pentru o descriere completă a fenomenelor psihice. Problema este dacă putem vorbi despre libertatea de a acţiona în acord cu posibilităţile noastre. Cîtă vreme n-am adoptat fără restricţii un punct de vedere determinist, ideea unei astfel de libertăţi este desigur exclusă. Totuşi, lecţia generală pe care ne-a dat-o fizica atomică, în particular despre posibilităţile limitate ale descrierii mecaniciste a fenomenelor biologice, ne sugerează ideea că abilitatea organismelor de a se adapta la mediul înconjurător înalude capacitatea de a alege cea mai potrivită cale pentru realizarea acestui scop. Deoarece o astfel de problemă nu poate fi judecată numai pe o bază pur fizică, trebuie să recunoaştem că experienţa psihologică ne-ar putea oferi informaţii mai potrivite. Lucrul cel mai important este că, dacă încercăm să prezicem ce va decide o altă persoană să facă într-o situaţie anumită, trebuie să căutăm să cunoaştem nu numai fondul său interior (care ar cuprinde întreaga istorie a vieţii lui în toate amănuntele care au contribuit la formarea caracterului lui), ci, în ultimă instanţă, ar însemna că tindem să ne punem noi înşine în locul lui. Desigur, este imposibil să se spună dacă o

persoană doreşte să facă un anumit lucru pentru că poate, sau poate să-1 facă pentru că vrea, însă ar fi greu de contrazis faptul că noi avem sentimentul că sîntem capabili, ca să spunem aşa, să facem lucrul cel mai potrivit într-o anumită situaţie dată. Din punctul de vedere al unei descrieri obiective, nimic nu mai poate fi adăugat sau scos. în acest sens putem vorbi în mod practic şi logic despre libertatea voinţei, avînd în vedere că ne rămîne deschisă posibilitatea utilizării unor cuvinte ca responsabilitate şi speranţă, greu de definit separat, ca şi multe alte cuvinte necesare comunicării dintre oameni.

Astfel de consideraţii lărgesc şi adîncesc implicaţiile lecţiei epistemologice pe care în situaţia noastră de observatori am primit-o de la dezvoltarea fizicii. Renunţînd la cererile obişnuite de explicaţii, ea ne oferă mijloacele logice cu care putem cuprinde şi înţelege un mai mare domeniu al experienţei, necesitînd o atenţie deosebită separarea subiect-obiect. Deoarece în literatura filozofică referirile se fac uneori la diferite nivele de obiectivitate sau subiectivitate sau chiar de realitate, trebuie notat că noţiuni ca subiect fundamental, sau concepţii ca realism şi idealism nu-şi găsesc locul într-o descriere obiectivă, aşa cum a fost definită ea mai sus ; acest lucru nu duce, desigur la nici o limitare a cercetării sau a domeniului de cercetare la care ne-am referit.

După ce am atins acele probleme ale ştiinţei legate de unitatea cunoaşterii, aş vrea să revin le chestiunile care urmează să fie analizate mai departe în programul propus, şi anume dacă există un adevăr poetic sau spiritual sau cultural deosebit de adevărul ştiinţific.

Cu toată reţinerea unui om de ştiinţă de a intra în astfel de domenii mă voi aventura totuşi, adoptînd o atitudine similară celei de pînă acum, pentru a discuta această problemă. întorcîndu-ne la

ideea dependenţei dintre mijloacele noastre de expresie şi domeniul de experienţă cu care avem de a face, vom fi puşi desigur în faţa corelaţiei dintre ştiinţă şi artă. îmbogăţirea mijloacelor, pe care arta ne-ar putea-o aduce, ar proveni din puterea ei de a ne aminti armoniile care scapă unei analize sistematice. Se poate spune că literatura, pictura şi muzica formează moduri de exprimare în care, cu cît e mai largă renunţarea la definiţii precise, caracteristice pentru exprimarea ştiinţifică, cu atît fantezia este mai liberă să se desfăşoare. în particular, în poezie acest scop este atins prin suprapunerea cuvintelor referitoare la situaţii ale observatorului, care se modifică, unind astfel emoţional multiplele aspecte ale cunoaşterii umane.

Orice realizare artistică cere inspiraţie, cu toate că munca oricărui artist, chiar şi atunci cînd atinge culmile cele mai înalte, se bazează pe un fundament uman comun pe care noi înşine ne aflăm. în particular, trebuie să înţelegem că un cuvînt ca „improvizaţie", care apare adesea cînd vorbim de realizările artistice, ne indică o trăsătură esenţială oricărei comunicări. Nu numai în conversaţiile obişnuite ne dăm seama mai mult sau mai puţin despre expresiile verbale pe care le-am ales pentru a comunica ceea ce ne-a trecut prin minte, dar chiar în lucrările scrise, unde avem posibilitatea să refacem fiecare cuvînt, problema dacă acel cuvînt îl păstrăm sau nu, cere pentru răspuns o decizie echivalentă cu o improvizaţie. De altfel, echilibrul dintre seriozitate şi glumă, caracteristic pent.iu orice realizare artistică remarcabilă, ne reaminteşte de aspectele complementare din jocurile copiilor, uneori apreciate şi de oamenii mari. De fapt, dacă ne străduim să vorbim întotdeauna foarte serios, riscăm să părem foarte repede ridiculi de plictisitori celor ce ne ascultă. Dacă încercăm însă să glumim tot timpul, ne vom da seama repede că atît noi cît şi ascultătorii noştri ne aflăm în starea sufletească disperată a nebunilor din dramele lui Shakes-

peare.

La o comparaţie între ştiinţă şi artă trebuie să avem mereu în minte că în ştiinţă avem de-a face cu o sistematică coordonare a eforturilor pentru a mări experienţa şi a dezvolta noţiuni potrivite pentru înţelegerea ei, cu totul asemănătoare transportului şi fasonării pietrelor din- tr-o construcţie. în artă avem de-a face cu o tendinţă individuală mai intuitivă, ce încearcă să evoce sentimente care să amintească situaţia noastră în totalitatea ei. Ne aflăm aici la un punct unde problema unităţii cunoaşterii evident conţine ambiguităţi, ca şi cuvîntul „adevăr" însuşi. De fapt, în ceea ce priveşte valorile spirituale şi culturale, nu trebuie să uităm problemele teoriei cunoaşterii legate de echilibrul just dintre dorinţa noastră de a cuprinde tot ce este legat de viaţă, de multiplele ei aspecte, şi posibilităţile noastre de a ne exprima într-o formă logic consistentă.

Ştiinţa şi religia prezintă în această privinţă diferite puncte de plecare. Ştiinţa tinde să dezvolte metodele generale de ordonare a experienţei generale umane, pe cînd religia are la bază tendinţa către o armonie viitoare în modul de a vedea lucrurile şi în comportarea din interiorul comunităţii. Desigur, în orice religie toate cunoştinţele dobîndite de membrii societăţii sînt incluse într-o schemă generală, al cărei prim conţinut îl constituie valorile şi idealurile cuprinse în cult şi credinţă. De aceea, relaţia inerentă dintre formă şi conţinut nu prea atrage atenţia, pînă cînd o ulterioară dezvoltare a ştiinţei nu aduce concluzii noi cu caracter cosmologic şi epistemologic. Desfăşurarea istoriei prezintă astfel de situaţii. Am putea, de exemplu, să ne referim la adevărata schismă dintre ştiinţă şi religie, apărută o dată cu dezvoltarea concepţiei mecaniciste asupra naturii din timpul Renaşterii în Europa. Pe de o parte, multe fenomene care altădată erau privite ca manifestare a providenţei divine apar azi drept consecinţe ale legilor generale şi imuabile ale naturii. Pe de altă parte, punctele de vedere şi

metodele fizicii sînt foarte departe de a da un sprijin punerii în evidenţă de valori umane şi idealuri fundamentale pentru religie. Aşa- numitele şcoli de filozofie critică şi empirică au în comun o atitudine de distincţie mai mult sau mai puţin vagă între cunoaşterea obiectivă şi credinţa subiectivă.

Pentru a sooate în relief necesitatea acordării unei deosebite atenţii locului unde se face separarea obiect-subiect într-o comunicare needhivocă, dezvoltarea modernă a ştiinţei a creat o nouă bază pentru utilizarea unor cuvinte cum ar fi „cunoaştere" şi „credinţă". Mai mult decît atît, recunoaşterea existenţei unei limitări inerente a noţiunii de cauzalitate a oferit cadrul în care ideea de predestinare universală este înlocuită prin ideea de evoluţie naturală, în ceea ce priveşte organizarea societăţilor omeneşti, putem sublinia în mod deosebit faptul că descrierea poziţiei individului în comunitate prezintă aspecte tipic complementare, legate de variaţia limitelor dintre aprecierea valorilor umane şi baza pe care se face această apreciere. Desigur orice societate umană stabilă cere un joc cinstit cu reguli judicioase. însă, în acelaşi timp, viaţa fără ataşamentul faţă de familie şi de prieteni ar fi evident deposedată de unele dintre cele mai preţioase valori de care dispune.

Unul din scopurile generale tuturor culturilor este cea mai strînsă combinaţie posibilă între dreptate şi caritate ; totuşi în fiecare caz în care se cere aplicarea strictă a legii, nu mai rămîne loc şi pentru caritate şi, invers, bunăvoinţa şi mila intră în conflict cu toate ideile de justiţie. Acest lucru este ilustrat în multe religii în mod mitic prin lupta între zeităţi personificînd astfel de idealuri. în vechea filozofie orientală, o regăsim în căutarea armoniei în viaţa omenească şi în aceea că pe scena existenţei noi sîntem în egală măsură actori şi spectatori.

La compararea diferitelor culturi bazate pe o tradiţie întreţinută de evenimente istorice, ne întîlnim cu dificultatea aprecierii culturii unei

naţiuni pe baza tradiţiilor alteia. în acest sens legătura între culturile naţionale a fost descrisă uneori drept complementară, deşi acest cu- vînt nu poate fi luat aici în sensul strict în care este folosit în fizica atomică sau în analiza psihologică, unde avem de-a face cu caracteristici invariabile ale situaţiei noastre. De fapt, contactul dintre popoare conduce adesea la o fuzionare a culturilor, în care se păstrează elementele cele mai valoroase ale tradiţiilor naţionale. Pentru dezvăluirea unor trăsături comune dezvoltării culturale, s-a dovedit foarte utilă şi cercetarea antropologică. Desigur, problema unităţii cunoaşterii cu greu poate fi separată de efortul spre o înţelegere universală ca mijloc de ridicare a culturii umane.

în încheiere, aş vrea să mă scuz că am vorbit despre probleme atît de generale, făcînd referiri tot timpul doar la un domeniu atît de special al cunoaşterii, reprezentat numai de fizică. Am încercat totuşi să indic atitudinea generală sugerată de lecţia generală pe care ne-a oferit-o acest domeniu şi pe care o consider de mare importanţă pentru problema unităţii cunoaşterii. Această atitudine poate fi rezumată prin tendinţa de a realiza o înţelegere armonioasă a unor aspecte cît mai largi ale situaţiei noastre. Va trebui să recunoaştem că nici o experienţă nu poate fi definită fără un cadru logic şi că orice dezacord aparent poate fi înlăturat numai printr-o lărgire potrivită a sistemului de noţiuni.

VI

Atomii şi cunoaşterea umană

1955

în istoria ştiinţei cercetările efectuate în acest secol în lumea atomilor par a oferi cu greu o paralelă între progresul cunoaşterii şi stăpînirea naturii. Totuşi dezvoltarea cunoştinţelor şi a posibilităţilor sînt legate de o mai mare responsabilitate. îndeplinirea bogatelor promisiuni ale erei atomice şi eliminarea noilor pericole aruncă civilizaţiei noastre o provocare. Ea poate fi rezolvată numai prin cooperarea tuturor popoarelor, cooperare bazată pe înţelegerea reciprocă a prieteniei umane. în acest sens e important să înţelegem că ştiinţa, care nu cunoaşte graniţe naţionale şi ale cărei realizări şi posibilităţi constituie o proprietate comună întregii omeniri, a reuşit să unească în decursul timpului eforturile oamenilor în vederea elucidării bazelor cunoştinţelor noastre. Aşa cum voi încerca să arăt, studiul atomilor a adus după sine consecinţe bogate. Progresul său s-a bazat pe o largă cooperare mondială şi nu numai că a dus la adîncirea înţelegerii noastre într-un nou domeniu experimental, dar a aruncat o lumină nouă asupra problemelor generale ale cunoaşterii.

La început am putea părea surprinşi de faptul că ştiinţa atomului ar conţine o lecţie atît de generală, însă trebuie să ne amintim că ea conţine în toate etapele ei de dezvoltare, profunde probleme de cunoaştere. Astfel, gîndi- torii antichităţii, presupunînd o limită pentru

divizibilita- tea substanţei, încercau să stabilească o bază pentru a înţelege caracterul de permanenţă pe care-1 prezină fenomenele naturale, în ciuda diversităţii şi a variabilităţii lor. Deşi ideile atomiste au contribuit din ce în ce mai fructuos la dezvoltarea fizicii şi chimiei încă de la Renaştere, ele au fost privite ca ipoteze pînă la începutul acestui secol. Desigur, era evident că organele noastre de simţ, ele însele compuse din nenumăraţi atomi, erau prea grosolane pentru ca să poată sesiza cele mai mici părţi de materie. Această situaţie s-a schimbat complet datorită marilor descoperiri din pragul secolului nostru. După cum se ştie, progresul realizat în tehnica experimentală a dat posibilitatea să se înregistreze efectele atomilor separaţi şi să se obţină chiar şi informaţii de la particulele mai elementare din care atomul însuşi este compus.

În ciuda profundei influenţe pe care atomismul antic a avut-o asupra concepţiei mecaniciste asupra naturii, experienţele de astronomie şi de fizică imediat realizabile au făcut să se descopere legile cuprinse în aşa-numita fizică clasică. învăţătura lui Galilei, după care descrierea fenomenului trebuie să se bazeze numai pe cantităţi măsurabile, a făcut posibilă eliminarea acelor vederi animiste, care au constituit atît de multă vreme un obstacol pentru formularea raţională a mecanicii. Principiile lui Newton au fost construite pe o bază deterministă, care, pornind de la cunoaşterea unei anumite stări a unui sistem fizic la un moment dat, permite precizarea stării lui în orice alt moment următor. Mai tîrziu, a fost posibil ca să se descrie cu aceleaşi metode şi fenomenele electromagnetice. Aceasta însă cerea ca la descrierea stării unui sistem să se cunoască, în afară de posibilităţile şi vitezele corpurilor electrizate şi magnetizate, şi direcţia şi intensitatea forţelor magnetice şi electrice în orice punct din spaţiu, la un moment dat.

Multă vreme s-a crezut că sistemul de noţiuni

care caracterizează fizica clasică trebuie să ne furnizeze un mod de descriere corect pentru toate fenomenele fizice. în orice caz, se părea că nu era mai puţin potrivit pentru a fi utilizat la dezvoltarea ideilor atomiste. Bineînţeles, pentru sistemele de tipul corpurilor obişnuite, formate dintr-un număr mare de atomi, nu se punea problema unei descrieri exhaustive a stării sistemului. Totuşi pe baza principiilor mecanicii clasice, fără a abandona idealul determinist, se poate ajunge să se stabilească regularităţi statistice care reflectă multe din proprietăţile corpurilor materiale. Legile mişcării din mecanică permit o inversare totală a

cursului desfăşurării unui proces izolat. Poate fi dată însă şi o explicaţie a caracterului complet ireversibil, caracteristic fenomenelor termice, pe baza echilibrului statistic al energiei, care se stabileşte la interacţiunile dintre molecule. Această importantă extindere a aplicaţiilor mecanicii subliniază necesitatea ideilor atomiste pentru descrierea naturii şi, pentru prima dată, deschide posibilitatea de a număra atomii în substanţa materială.

Odată cu clarificarea bazelor legilor termodinamicii, s-a deschis şi calea pentru descoperirea unui caracter global al proceselor atomice, depăşind cu mult vechea teorie a divizibilităţii limitate a materiei. După cum se ştie, analiza amănunţită a fenomenelor radiaţiei termice a devenit piatra de încercare a aplicabilităţii ideilor fizicii clasice. Descoperirea undelor electromagnetice a furnizat deja o bază care permite înţelegerea propagării luminii şi explicarea unui mare număr de proprietăţi optice ale substanţelor materiale. însă dacă am încerca să aplicăm aceste idei pentru explicarea echilibrului radiaţiei, am întîmpina dificultăţi imposibil de rezolvat. Faptul că ne aflăm aici în faţa unor argumente bazate pe principii generale, complet independente de ipotezele particulare bazate pe elementele constituente ale materiei, l-a condus pe Planck, în primul an al acestui secol, la descoperirea cuantei universale de acţiune. Această descoperire a arătat apoi în mod clar că descrierea naturii pe care o face fizica clasică nu este deoît o idealizare, al cărei domeniu de aplicabilitate este limitat. în cazul fenomenelor care au loc la scara obişnuită, acţiunile puse în joc sînt atît de mari în raport cu cuanta de acţiune, încît aceasta poate fi neglijată. însă, în procesele cuantice propriu-zise întâlnim legi care sînt complet străine concepţiei mecaniciste despre natură şi care sfidează orice descriere deterministă intuitivă.

Problema pe care descoperirea lui Planck o punea fizicienilor era foarte dificilă. Trebuiau analizate profund ipotezele pe care se bazează aplicarea noţiunilor noastre cele mai elementare şi să se facă loc pentru cuanta de acţiune, într-o generalizare raţională a descrierii fizicii cla-

sice. în decursul dezvoltării fizicii cuantice, care ne-a adus atîtea surprize, noi am constatat tot timpul cît este de dificil să te orientezi într-un domeniu experimental îndepărtat de cel pentru care sînt adaptate mijloacele noastre de exprimare. Au fost făcute totuşi progrese rapide datorită unei intense colaborări între fizicienii din numeroase ţări, ale căror diverse moduri de abordare au contribuit cu cea mai mare eficacitate la precizarea problemei din ce în ce mai exact. Evident, nu va fi posibil să expun în detaliu contribuţiile individuale, însă, ca un fundal pentru consideraţiile care urmează, voi aminti pe scurt cîteva din etapele principale ale acestei dezvoltări.

Planck se limita cu prudenţă la argumente statistice şi insista asupra dificultăţilor de care ne ciocnim de îndată ce abandonăm fundamentele clasice pentru descrierea naturii în detaliu. Einstein a subliniat însă cu îndrăzneală necesitatea de a se ţine seama de cuanta de acţiune în fenomenele atomice individuale. în acelaşi an în care completa atît de armonios osatura fizicii clasice prin crearea teoriei relativităţii, el arăta că la descrierea observaţiilor făcute asupra efectului fotoelectric este necesar să se presupună că transferul de energie pentru fiecare din electronii extraşi din substanţele materiale corespunde absorbţiei unei aşa-numite cuante de radiaţie. Deoarece ideea de undă era indispensabilă pentru a ţine seama de propagarea luminii, nu putea fi vorba de a o înlocui în mod simplu printr-o descriere corpusculară. Din această cauză, oamenii de ştiinţă se aflau în faţa unei dileme deosebite care cerea o analiză completă a posibilităţilor noţiunilor noastre descriptive.

După cum se ştie, această problemă a devenit şi mai acută odată cu descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic. Nucleul conţine aproape întreaga masă a atomului, în ciuda dimensiunilor sale reduse, iar sarcina sa electrică

corespunde numărului de electroni pe care îi conţine atomul neutru. Ajungem astfel la o reprezentare simplă a atomului, care ne sugerează direct aplicarea ideilor împrumutate din mecanică şi electromagnetism. Totuşi, era evident că nu putea să existe nici o configuraţie de particule electrizate care, conform principiilor fizicii clasice, să posede stabilitatea necesară pentru a explica proprietăţile fizice şi chimice ale atomilor. în particular, în conformitate cu principiile electromagnetismului clasic, orice mişcare a electronilor în jurul atomului ar trebui să producă o radiaţie continuă de energie, implicînd o contracţie rapidă a sistemului. în oele din urmă electronii ar cădea în nucleu, formînd o particulă neutră, avînd dimensiuni neglijabil de mici în raport cu cele care trebuie atribuite atomului. Totuşi, legile empirice, complet de neînţeles pe atunci, ale spectrelor de linii ale elementelor au constituit un prim indiciu asupra importanţei decisive a cuantei de acţiune pentru stabilitatea şi reacţiile radiative ale atomului.

Punctul de plecare a fost aici ceea ce se numeşte postulatul cuantic, după care orice variaţie de energie din- tr-un atom este rezultatul tranziţiei complete între două dintre stările lui staţionare. Presupunînd, mai departe, că în toate reacţiile radiative ale atomului are loc emisia sau absorbţia unei singure cuante de lumină, valorile energiei stărilor staţionare au putut fi determinate cu ajutorul spectrului. Era însă evident că o explicaţie a indivizibilităţii proceselor de tranziţie, sau a apariţiei lor în anumite condiţii, nu se putea da în cadrul unei descrieri deterministe. S-a dovedit însă că era posibil să se obţină o imagine generală asupra legăturilor electronilor în atom — fapt care reflectă multe din proprietăţile substanţei — cu ajutorul aşa-numitului principiu de corespondenţă. Pe baza unei comparaţii cu desfăşurarea proceselor, aşa cum ar fi ele descrise de fizica clasică, au fost căutate directivele pentru o generalizare statistică a descrierii lor,

compatibilă cu postulatul cuantic. Mai mult, a devenit din ce în ce mai clar că, pentru a se putea obţine o teorie consistentă a fenomenelor atomice era necesar să se renunţe din ce în ce mai mult la utilizarea de imagini şi că trebuia să se formuleze din nou şi să se schimbe radical descrierea de pînă atunci a fenomenelor, pentru a se putea face loc tuturor aspectelor legate de cuanta de acţiune.

Soluţia la care s-a ajuns, rezultatul contribuţiilor ingenioase ale unora dintre cei mai buni teoreticieni ai epocii noastre, este de o simplitate surprinzătoare. Ca şi în cazul teoriei relativităţii, dezvoltarea unor abstracţii matematice a condus la făurirea unor instrumente de lucru potrivite pentru formularea teoriei. Cantităţile care serveau în fizica clasică pentru descrierea stării unui sistem, sînt înloouite în formalismul mecanicii cuantice prin operaţii simbolice a căror comutabilitate este limitată de reguli care conţin cuanta de acţiune. Acestea implică faptul că nu putem atribui simultan valori definite pentru cantităţile care desemnează coordonatele poziţiei unei particule şi componentele corespunzătoare ale impulsului. Caracterul statistic al formalismului apare astfel ca o generalizare naturală a descrierii date în fizica clasică. De altfel, această generalizare permite o formulare consecventă a regulilor care limitează individualitatea particulelor identice, reguli legate de cuanta de acţiune şi care nu pot fi exprimate cu ajutorul reprezentărilor fizice obişnuite.

Metodele mecanicii cuantice au permis explicarea unui mare număr de fapte experimentale evidente, ’-eferitoare la proprietăţile fizice şi chimice ale corpurilor. A fost posibil să se explice în detaliu nu numai legarea electronilor în atomi şi molecule, ci s-a obţinut şi o reprezentare profundă a constituţiei şi reacţiilor nucleelor atomice. în legătură cu aceasta, se mai poate menţiona faptul că legile de probabilitate care guvernează transmutarea radioactivă spontană au fost încorporate armonios în

descrierea statisticii cuantice. De asemenea, în înţelegerea proprietăţilor noilor particule elementare, care au fost observate în ultimii ani în studiul transmutaţiilor nucleelor atomice la mari energii, se fac continue progrese în adaptarea formalismului la cerinţele de invarianţă ale teoriei relativităţii. Dar, în faţa noastră stau mereu noi probleme a căror soluţie va cere evident noi abstracţii, permiţîndu-ne să combinăm cuanta de acţiune cu sarcina electrică elementară.

În ciuda fertilităţii mecanicii ouantice în domenii atît de întinse ale experienţei, renunţarea la cerinţele tradiţionale ale explicării fizice a determinat pe mulţi fizicieni şi filozofi să se îndoiască că am avea de-a face aici cu o descriere exhaustivă a fenomenelor atomice. în special, a circulat părerea că modul statistic de descriere trebuie privit ca un expedient temporar care, în principiu, va putea fi înlocuit cu o descriere deterministă. Discutarea profundă a acestei probleme a dus însă la acea clarificare a propriei noastre poziţii ca observatori ai proceselor atomice, din care s-au tras învăţămintele epistemologice la care ne-am referit la început.

Deoarece problema ştiinţei este de a dezvolta şi ordona experienţa noastră, orice analiză a condiţiilor cunoaşterii umane trebuie să se bazeze pe caracterul şi completitudinea mijloacelor noastre de comunicare. Baza acestora o constituie, desigur, limbajul necesar pentru orientarea în diferite împrejurări şi pentru organizarea comunităţilor umane. însă, acumularea experienţei a ridicat în repetate rînduri problema suficienţei noţiunilor şi ideilor cuprinse în limbajul de toate zilele. Din cauza unei relative simplităţi, problemele fizicii sînt potrivite pentru încercarea calităţii mijloacelor noastre de comunicare. Desigur, dezvoltarea fizicii atomice ne-a învăţat

cum este posibil ca, fără să abandonăm limbajul comun, să creărn un cadru suficient de larg pentru o descriere exhaustivă a noilor experienţe.

în legătură cu aceasta, trebuie înainte de toate să înţelegem că în orice descriere a unei experienţe de fizică trebuie să redăm atît condiţiile experimentale, cît şi observaţiile cu aceleaşi mijloace de comunicare de care face uz şi fizica clasică. în studiul particulelor atomice izolate, acest lucru se face cu ajutorul efectelor ireversibile de amplificare. De exemplu, prin urma lăsată pe o placă fotografică de ciocnirea unui electron, sau printr-o descărcare electrică dintr-un contor. Există şi observaţii care nu conţin decît locul şi momentul în care a fost înregistrată particula în placă, sau de exemplu energia ei la intrarea în contor. Desigur, o astfel de informaţie presupune cunoaşterea poziţiei plăcii fotografice faţă de alte părţi ale instalaţiei experimentale, ca diafragme şi obturatoare, care definesc coordonatele în spaţiu-timp, sau faţă de corpuri electrizate sau magnetizate, care determină cîmpul exterior de forţe ce acţionează asupra particulei şi permit efectuarea unor măsurători de energie. Condiţiile experimentale pot fi variate în mai multe feluri, însă lucrul cel mai important este că în fiecare caz trebuie să fim în stare să comunicăm altcuiva ceea ce am făcut şi ceea ce am aflat. De aceea, descrierea funcţionării aparatelor de măsură trebuie să se facă în cadrul ideilor fizicii clasice.

în toate măsurătorile efeobuate în felul acesta, avem de-a face cu corpuri suficient de grele pentru a putea neglija cuanta de acţiune atunci cînd facem descrierea lor. Astfel că, la drept vorbind, nu avem o nouă problemă de observaţie în fizica atomică. Amplificarea efectelor atomice, care permite ca descrierea să se poată baza pe cantităţi măsurabile şi dă fenomenelor un anumit caracter de indivizibilitate, nu face decît să sublinieze ireversibilitatea inerentă însăşi noţiunii de observaţie. Dacă în cadrul fizicii clasice nu era,

în principiu nici o deosebire între descrierea instrumentelor de măsură şi descrierea obiectelor de cercetat, situaţia este cu totul alta cînd studiem fenomene cuantice. Aici cuanta de acţiune impune restricţii în descrierea stării sistemelor în coordonate de spaţiu-timp şi impuls-energie, în timp ce descrierea deterministă a fizicii clasice se bazează pe presupunerea unei compatibilităţi riguroase între localizarea în spaţiu-timp şi aplicarea legilor dinamice de conservare. Evident sîntem puşi în faţa problemei de a răspunde dacă o astfel de descriere mai poate fi menţinută în întregime şi pentru obiectele atomice.

S-a constatat că în clarificarea acestui lucru un rol deosebit de important îl joacă interacţiunea dintre obiecte şi aparatele de măsură. După cum a subliniat Heisenberg, localizarea unui obiect într-un domeniu limitat în spaţiu şi timp implică, conform mecanicii cuantice, un schimb de impuls şi energie între instrument şi obiect, care este cu atît mai mare cu cît este mai mic domeniul ales. Era deci foarte important să se examineze în ce măsură se putea ţine seama în descrierea fenomenelor de această interacţiune implicată de observaţia însăşi. Această problemă a stat în centrul multor discuţii, în care apăreau multe propuneri referitoare la controlul complet al tutror interacţiunilor. însă toate aceste consideraţii nu ţineau niciodată seama de faptul că în însăşi descrierea funcţionării aparatelor de măsură, toate interacţiunile dintre acestea şi obiectele atomice, implicate de cuanta de acţiune, fac parte indisolubilă din fenomene.

Orice dispozitiv experimental, care permite înregistrarea unei particule atomice într-un domeniu limitat în spaţiu şi timp cere rigle gradate fixe şi ceasuri sincronizate. Prin însăşi definiţia lor, acestea exclud controlul impulsului şi energiei care le sînt transmise. Reciproc, pentru a putea aplica fără ambiguitate legile dinamice de

conservare în fizica cuantică, trebuie să se renunţe în principiu, în descrierea fenomenelor, la o localizare precisă în spaţiu şi timp. Această excluziune reciprocă a condiţiilor experimentale, cere să se ţină seama de totalitatea dispozitivului experimental pentru a descrie corect fenomenul. Indivizibilitatea fenomenelor cuantice îşi găseşte expresia logică în faptul că orice subdiviziune a fenomenului, care poate fi definită, implică o schimbare a aranjamentului experimental, cu apariţia de noi fenomene individuale. Astfel, însăşi baza unei descrieri deterministe dispare şi apare caracterul statistic al prezicerilor, datorită faptului că într-unul şi acelaşi dispozitiv experimental, vom observa în general diferite procese individuale.

Consideraţiile de acest gen nu numai că au clarificat dilema despre care am mai vorbit, referitoare la propagarea luminii, dar au rezolvat complet şi paradoxurile similare care apăreau atunci cînd încercam să reprezentăm vizual comportarea particulelor materiale. Evident, nu putem găsi aici o explicaţie fizică în sensul obişnuit al cu- vîntului. Tot ceea ce am putea pretinde într-un nou domeniu experimental este să putem înlătura orice contradicţie aparentă. Oricît de diferite ar fi fenomenele atomice observate în diferite condiţii experimentale, astfel de fenomene trebuie considerate complementare, în sensul că fiecare este bine definit şi că, împreună, ele epuizează toate cunoştinţele asupra obiectelor considerate. Formalismul mecanicii cuantice, al cărui singur scop este să unifice observaţiile obţinute în condiţiile experimentale descrise prin noţiuni fizice simple, dă unui foarte întins domeniu experimental o descriere complementară exhaustivă. Renunţarea la reprezentarea intuitivă nu este completă, ea se referă numai la starea obiectelor atomice. Nu se renunţă însă la baza pentru descrierea condiţiilor experimentale, ca şi la libertatea de a le alege. întregul formalism, care nu se aplică decît fenomenelor închise, trebuie

considerat sub toate aceste raporturi drept o generalizare a fizicii clasice.

Dată fiind influenţa pe care concepţia mecanicistă a avut-o asupra gîndirii filozofice, înţelegem de ce se credea uneori că noţiunea de complementaritate implică o referire la un observator subiectiv, referire incompatibilă cu descrierea ştiinţifică obiectivă. în orice domeniu experimental trebuie desigur să facem o distincţie clară între observator şi conţinutul observaţiilor. Trebuie însă să înţelegem că descoperirea cuantei de acţiune a aruncat o nouă lumină asupra bazelor înseşi ale descrierii naturii şi a arătat că pentru o utilizare raţională a noţiunilor pe care se bazează comunicarea faptelor experimentale sînt necesare presupuneri a căror existenţă nici măcar nu putea fi bănuită. în fizica cuantică, după cum am văzut, e necesară descrierea funcţionării aparatelor pentru definirea fenomenelor şi trebuie, ca să spunem aşa, să facem distincţie între subiect şi obiect în sensul că pentru fiecare caz individual trebuie să asigurăm aplicarea neechivocă a noţiunilor fizice elementare folosite la descrierea fenomenelor. Departe de a conţine orice urmă de misticism, străin de spiritul ştiinţific, noţiunea de complementaritate subliniază condiţiile logice necesare descrierii şi înţelegerii experienţei în fizica atomică.

Lecţia epistemologică pe care ne-a dat-o fizica atomică — asemănătoare cu situaţii întîlnite mai înainte în dezvoltarea fizicii — ne obligă la reconsiderarea utilizării mijloacelor noastre de comunicare pentru o descriere obiectivă şi în alte domenii ale cunoaşterii. Accentul care s-a pus pe problema observării a ridicat problema poziţiei organismelor vii în descrierea naturii şi a propriei noastre situaţii de fiinţe care gîndesc şi acţionează. Dacă era posibil într-o oarecare măsură ca în cadrul fizicii clasice să comparăm

organismele cu maşini, era totuşi evident că astfel de comparaţii nu pot să ţină seama de multe dintre caracteristicile vieţii. Insuficienţa concepţiei mecaniciste asupra naturii în descrierea poziţiei omului este deosebit de evidentă în dificultăţile legate de distincţia primitivă dintre suflet şi corp.

Problemele pe care le întîlnim aici sînt desigur legate de faptul că se face descrierea multor aspecte ale existenţei umane cu o terminologie care nu este bazată direct pe imagini fizice simple. Totuşi, recunoscînd aplicabilitatea limitată a unor astfel de imagini în descrierea fenomenelor atomice, putem să ne facem o imagine asupra modului cum trebuie înţelese fenomenele biologice şi psihologice în cadrul unei descrieri obiective. Ca şi mai înainte, şi aici e important să ne dăm seama de separarea dintre observator şi conţinutul comunicărilor. în concepţia mecanicistă asupra naturii, distincţia subiect-obiect este fixată. Recunoaşterea aplicării consecvente a reprezentărilor noastre necesită uneori diferite poziţii pentru linia de separaţie dintre subiect şi obiect, lăsînd astfel mai mult spaţiu pentru lărgirea descrierii.

Fără să încercăm vreo definire exhaustivă a vieţii organice, putem spune că un organism viu este caracterizat prin integritatea şi adaptabilitatea sa. Aceasta înseamnă că descrierea funcţiunilor interne ale organismului şi reacţia sa la stimuli exteriori cer adesea utilizarea cuvîntului „finalitate", care e complet străin fizicii şi chimiei. Deşi rezultatele fizicii atomice şi-au găsit multiple aplicaţii în biofizică şi biochimie, fenomenele cuantice individuale închise nu exprimă nici o trăsătură caracteristică pentru noţiunea de viaţă. După cum am văzut, descrierea fenomenelor atomice, exhaustivă pentru un larg domeniu experimental, se bazează pe utilizarea liberă a acelor aparate de măsură care sînt necesare pentru aplicarea cea mai potrivită a noţiunilor elementare. Pentru organismele vii, totuşi, o astfel de distincţie între instrumentele de măsură şi

obiectele de cercetat poate fi cu greu realizată complet. Trebuie să ne aşteptăm la faptul că orice aranjament experimental, al cărui scop este să descrie funcţionarea organismului şi care este bine definit în sensul fizicii atomice, va fi incompatibil cu manifestările vieţii.

în cercetările biologice se fac adesea referiri la caracterul de totalitate al reacţiilor finaliste ale organismelor vii, punîndu-se în evidenţă în acelaşi timp informaţii din ce în ce mai multe şi mai amănunţite asupra structurii lor şi a proceselor de reglare care au loc. Se ştie de exemplu ce progrese remarcabile s-au realizat pe această cale în medicină. E vorba aici de o metodă practică de aproximaţie, într-un domeniu de cercetare în care mijloacele de exprimare utilizate pentru descrierea diferitelor aspecte se referă la condiţii de observare care se exclud reciproc. Aceasta ne-ar face să recunoaştem că atitudinile mecaniciste şi finaliste nu sînt puncte de vedere contradictorii, ci prezintă o relaţie de complementaritate, care este legată de poziţia noastră ca observatori ai naturii. Totuşi, pentru a evita orice neînţelegere, este esenţial să notăm că, în contradicţie cu descrierea regularităţilor atomice, descrierea vieţii organice şi evaluarea posibilităţilor ei de dezvoltare nu pot avea pretenţia de a fi complete, ci numai să tindă spre realizarea unui sistem de noţiuni suficient de cuprinzător.

în descrierea experienţelor psihologice, întîlnim condiţii de observare şi mijloace de exprimare corespunzătoare, care se îndepărtează încă şi mai mult de terminologia utilizată în fizică. Independent de necesitatea folosirii unor cuvinte ca instinct şi raţiune, în descrierea comportării animalului, nu putem să ne lipsim de utilizarea cuvîntului conştiinţă cînd este vorba de noi, de alţii şi în general de om. Cu toate că limbajul adoptat orientării noastre în lumea înconjurătoare ar putea pleca de la imagini fizice simple şi de la ideea de cauzalitate, totuşi, pentru descrierea stărilor noastre de conştiinţă este nevoie de un

mod de descriere tipic complementar. în adevăr, utilizarea unor cuvinte ca gîndire şi sentiment nu se referă la un lanţ cauzal complet închis, ci la experienţe care se exclud una pe alta, din cauza diferenţelor pe care ele le implică între conţinutul conştient şi fond, pe care noi îl numim atfît de imprecis „noi înşine“

în acest sens este foarte instructivă relaţia dintre un sentiment de voinţă şi aprecierea conştientă a motivelor de acţiune. Imposibilitatea de a evita astfel de mijloace de exprimare contradictorii pentru descrierea bogăţiei vieţii conştiente ne aminteşte de modul cum sînt utilizate noţiunile fizice elementare în fizica atomică. într-o astfel de comparaţie, totuşi, trebuie să recunoaştem că experienţa psihică nu poate fi supusă unor măsurători fizice. însăşi noţiunea de voinţă, departe de a corespunde generalizării unei descrieri deterministe, tinde de la început să caracterizeze viaţa omenească. Fără să intrăm în vechea dispută filozofică a liberului-arbitru, aş menţiona că, într-o descriere obiectivă a situaţiei noastre, utilizarea cuvîntului „voinţă" este tot atît de importantă ca şi utilizarea cuvintelor „speranţă" sau „responsabilitate", care sînt la fel de indispensabile pentru comunicare dintre oameni.

Avem de-a face aici cu probleme care privesc comunitatea umană, în care varietatea mijloacelor de expresie este generată de imposibilitatea de a caracteriza, printr-o distincţie bine delimitată, rolul individului în societate. Faptul că diversele culturi umane, dezvoltate în condiţii de viaţă diferite, prezintă în tradiţiile lor ca şi în structurile lor sociale, atît de mari contraste, ne permite să le considerăm într-un anumit sens complementare. Totuşi, aici nu avem de-a face cu trăsături care se exclud reciproc, ca acelea întîlnite în descrierea obiectivă a problemelor generale de fizică şi psihologie, ci cu diferenţe de atitudine, care pot fi apreciate sau ameliorate prin extinderea legăturilor între popoare.

în epoca noastră, în care progresul cunoaşterii şi al tehnicii leagă mai mult ca oricînd destinul tuturor popoarelor, colaborarea ştiinţifică internaţională este una din sarcinile cele mai importante. Ea nu va putea fi rezolvată dacă nu vom avea o imagine clară a condiţiilor generale ale cunoaşterii umane.

Fizica şi problema vieţii

1957

A fost o plăcere pentru mine să accept invitaţia Societăţii Medicale din Copenhaga de a ţine una din conferinţele prin care Societatea omagiază memoria unui celebru savant danez, a cărui operă este apreciată din ce în ce mai mult nu numai în patria lui, ci şi în toată lumea ştiinţifică. Drept temă pentru conferinţa mea am ales una din problemele care a preocupat spiritul omenesc în decursul anilor şi care l-a preocupat foarte mult şi pe Niels Stensen, şi anume : în ce măsură experienţa dobîndită în fizică, ne poate ajuta la explicarea vieţii organice şi a manifestărilor ei atît de bogate şi variate ? După cum voi încerca să arăt, progresul fizicii din ultimele deoenii ne-a furnizat o nouă bază pentru abordarea acestei probleme, şi anume explorarea lumii atomilor, care ne-a fost atît de multă vreme inaccesibilă şi care ne-a condus la reconsiderarea poziţiei noastre de observatori ai naturii din care noi înşine facem parte.

Păreri divergente asupra mijloacelor şi noţiunilor care sînt cele mai potrivite pentru descrierea deosebirilor nete dintre organismele vii şi alte corpuri materiale au existat încă în şcolile filozofice din Grecia antică. După cum se ştie, atomiştii considerau că o limitare a divizibilităţii materiei este necesară nu numai pentru explicarea fenomenelor simple, ci şi pentru explicarea funcţionării organismelor şi a experienţelor

psihice legate de acestea. însă, pe de altă parte Aristotel respingea ideile atomiste. Considerînd că orice organism viu se comportă ca un tot, el insista asupra necesităţii de a se introduce în descrierea naturii noţiuni ca cele de perfecţiune şi finalitate.

Aproape 2 000 de ani situaţia aceasta a rămas neschimbată. Abia Renaşterea i-a dat un nou impuls, odată cu efectuarea unor mari descoperiri în fizică şi biologie. Progresul făcut în fizică a constat în primul rînd în renunţarea la ideea lui Aristotel asupra forţei motrice drept cauză a mişcării. Considerînd că mişcarea uniformă este o manifestare a inerţiei şi că forţa este cauza variaţiei mişcării, Galilei a ajuns să pună bazele dezvoltării mecanicii. Newton avea apoi să-i dea acesteia o formă atît de solidă şi logică, încît a ajuns să fie admirată de toate generaţiile care au urmat. în aşa-numita „mecanică clasică", oricare referire la scop este eliminată, deoarece evoluţia fenomenelor este descrisă aici ca o consecinţă care rezultă în mod automat din condiţiile iniţiale.

Progresul realizat în mecanică nu putea să nu exercite o puternică influenţă asupra ştiinţei din acea vreme.

Astfel, studiile de anatomie ale lui Vesalius şi descoperirea de către Harvey a circulaţiei sîngelui au sugerat compararea organismelor vii cu maşinile care funcţionau conform legilor mecanicii. Dintre filozofi, în special Descartes sublinia analogia dintre animale şi mecanisme. Referin- du-se la om, el îi atribuie un suflet, care s-ar găsi într-o anumită glandă din creier, interacţionînd astfel cu corpul. Niels Stensen a fost acela care, în celebra sa conferinţă despre anatomia creierului, ţinută la Paris, a subliniat insuficienţa cunoştinţelor din acea vreme asupra tuturor acestor fenomene. Această conferinţă rămîne ca o importantă mărturie asupra marilor calităţi de observator şi a excepţionalei libertăţi de judecată care caracterizează întreaga operă ştiinţifică a lui Stensen.

Dezvoltarea ulterioară a biologiei, în special după invenţia microscopului, a dezvăluit deosebita fineţe care există în structura organismelor vii şi în procesele de reglare. în acelaşi timp cu dezvoltarea ideilor mecaniciste, care îşi găseau

explicaţii din ce în ce mai numeroase, au reapărut şi punctele de vedere vitaliste şi finaliste, inspirate de minunata putere de regenerare şi adaptare a organismelor. Departe însă de a reveni la ideile primitive ale forţei vitale, care ar acţiona în organisme, ideile acestea subliniau insuficienţa metodei fizice de aproximaţie pentru descrierea caracteristicilor vieţii. Ca o succintă prezentare a situaţiei, aşa cum era ea la începutul acestui secol, aş vrea să citez aici un text scris de tatăl meu, fiziologul Christian Bohr, ca introducere la articolul său *Asupra dilatării patologice a plămânului,* apărut în volumul jubiliar publicat cu ocazia aniversării Universităţii din Copenhaga, în 1910.

„Sarcina specială a fiziologiei în măsura în care ea poate fi considerată ca o ramură specială a ştiinţelor naturii, este de a studia fenomenele care sînt specifice, organismului viu, considerat ca un obiect dat al experienţei şi să ajungă astfel la o înţelegere a contribuţiei diverselor sale părţi la autoreglare, cum se echilibrează acestea unele pe altele şi cum se adaptează împreună la variaţia influenţelor exterioare şi a proceselor interne. însăşi natura acestei probleme cere utilizarea unor cuvinte ca „scop“, prin care se înţelege menţinerea organismului, şi „finalitate[14], care se referă la mecanismele de reglare folosite pentru această menţinere. în acest sens vom utiliza în cele ce urmează termenul de finalitate a funcţiilor organice. Dar pentru ca în fiecare caz particular folosirea acestor noţiuni să nu fie sau lipsită de conţinut sau înşelătoare, trebuie ca analiza experimentală a fenomenelor organice studiate să fie dusă atît de departe, încît să se vadă clar la fiecare pas cum contribuie ele la menţinerea organismului. Această condiţie nu implică decît o demonstraţie ştiinţifică, care să arate că termenul finalitate este folosit în fiecare caz conform definiţiei date. Deşi acest lucru pare evident este bine ca el să fie încă o dată subliniat. într-adevăr cercetările fiziologice au scos la iveală o varietate

atît de mare de mecanisme de reglare de o deosebită fineţe, încît am fi tentaţi să atribuim o finalitate oricărei manifestări de viaţă, fără ca să determinăm experimental în amănunt modul de funcţionare al fiecăruia. Am ajuns astfel să ne bazăm pe analogii. Ele s-ar găsi destul de uşor în multitudinea funcţiilor organice şi s-ar interpreta astfel mecanismul proceselor vitale printr-o adaptare la scop, pe baza unei estimări subiective a tipului special de finalitate căruia ar trebui să-i aparţină. Este evident că, adesea, datorită cunoştinţelor noastre foarte limitate asupra organismului, astfel de judecăţi personale pot fi eronate. în această privinţă nu lipsesc exemplele. în astfel de cazuri, insuficienta analiză experimentală a detaliilor unui proces fiziologic face ca metoda să conducă la rezultate eronate. Pe de altă parte admiterea *apriori* a finalităţii unui proces organic ca principiu euristic este foarte naturală. Mai mult decît atît, condiţiile dintr-un organism fiind deosebit de complicate şi, deci, dificile de înţeles, ele fac ca această ipoteză să fie deosebit de utilă şi chiar indispensabilă atunci cînd se caută soluţia unei anumite probleme. Trebuie să se facă însă distincţia dintre ceea ce poate fi util într-o cercetare preliminară şi ceea ce ar trebui să considerăm ca rezultat real. Nu putem răspunde în ce măsură este vorba de problema adaptării unei funcţii date la scopul de a contribui la supravieţuirea organismului întreg, decît după o demonstraţie amănunţită în care am arătat pas cu pas în ce fel a fost atins acest scop.“

Am citat aceste observaţii, care exprimă atitudinea cercului în care am crescut şi ale cărui discuţii le-am ascultat în tinereţea mea, deoarece ele oferă un punct de plecare pentru cercetarea locului pe care îl ocupă organismele vii în descrierea naturii. După cum voi încerca să arăt, dezvoltarea recentă a fizicii atomice nu a contribuit numai la extinderea cunoştinţelor noastre asupra atomilor şi a constituţiei lor din părţi mai elementare, ci, în acelaşi timp, a

dezvăluit limitarea principală a aşa-numitei concepţii mecaniciste asupra naturii. în felul acesta s-a creat o nouă bază pentru problema foarte importantă, legată de subiectul nostru, despre ce înţelegem şi ce putem cere de la explicaţia ştiinţifică.

Pentru a expune cît mai clar cu putinţă situaţia din fizică, voi începe prin a vă aminti punctul de vedere extremist care, sub imboldul succesului deosebit al mecanicii clasice, şi-a găsit expresia în binecunoscuta concepţie a lui Laplace asupra universului-maşină. Toate interacţiunile dintre părţile constitutive ale acestei maşini erau guvernate de legile mecanicii. O inteligenţă care ar fi cunoscut poziţiile relative şi vitezele tuturor acestor părţi la un moment dat ar fi putut să prezică orice eveniment următor care s-ar fi produs în lume, inclusiv comportările omului şi ale animalelor. în această concepţie, care după cum se ştie a jucat un rol important în discuţiile filozofice, nu se ţine seama de condiţiile cerute de o utilizare univocă a noţiunilor, indispensabilă comunicării rezultatelor experienţei.

în legătură cu aceasta, dezvoltarea recentă a fizicii constituie o lecţie. Astfel, explicaţia fenomenelor calorice ca o mişcare neîncetată a moleculelor din gaze, lichide şi solide atrăsese încă mai de mult atenţia asupra condiţiilor de observare în descrierea unei experienţe. Desigur nu putea fi vorba de a descrie în amănunţime mişcarea fiecăreia din aceste particule practic nenumărabile, ci numai de a deduce legile statistice ale mişcării calorice cu ajutorul principiilor generale ale mecanicii. Contrastul dintre reversibilitatea proceselor mecanice simple şi ireversibilitatea caracteristică pentru multe dintre fenomenele termodinamice a fost lămurit prin faptul că aplicarea unor noţiuni ca temperatură şi entropie se referă la condiţii

experimentale incompatibile cu controlul complet al mişcării fiecărei molecule în parte.

în ceea ce priveşte menţinerea şi creşterea organismelor vii, adesea întîlnim o contradicţie cu acea tendinţă, care decurge din legile termodinamicii, către echilibrul de temperatură şi energie pentru un sistem fizic izolat. Să nu uităm însă că organismele sînt alimentate continuu cu energie liberă, prin nutriţie şi respiraţie. Cercetările de fiziologie cele mai aprofundate nu au putut pune în evidenţă nici o abatere de la principiile termodinamicii. Evident, nu este suficient numai să recunoaştem existenţa unor anumite asemănări între organismele vii şi maşinile obişnuite, pentru a răspunde la întrebarea referitoare la locul organismelor vii în descrierea naturii. Această problemă cere un studiu mult mai aprofundat al problemei observaţiei. Faptul acesta a fost scos în evidenţă într-un mod cu totul neaşteptat prin descoperirea cuantei universale de acţiune. Aceasta conferă proceselor atomice un caracter de completitudine, care face imposibilă o separare între observarea fenomenelor şi comportarea proprie a obiectelor, atît de caracteristică pentru concepţia mecanicistă asupra naturii. în sistemele fizice, la scara macroscopică, putem considera fenomenele ca un lanţ de stări, descris cu ajutorul unor mărimi măsurabile. Aici toate acţiunile puse în joc sînt destul de mari pentru a putea face abstracţie de interacţiunea dintre obiecte şi corpurile pe care le-am folosit drept instrumente de măsură. în condiţiile în care cuanta de acţiune joacă un rol hotărîtor şi în care o astfel de interacţiune dintre obiect şi aparatul de măsură devine o parte inseparabilă a fenomenelor descrise, nu putem -să atribuim acestor fenomene în aceeaşi măsură ca şi în mecanică un sens de evoluţie bine definit.

Această imposibilitate de folosire a imaginilor fizice obişnuite îşi găseşte o expresie netă în dificultăţile care apar cînd se vorbeşte despre proprietăţile obiectelor atomice, independent de

condiţiile în care au fost observate. Desigur că un electron poate fi definit ca o particulă electrizată, deoarece măsura masei sale dă întotdeauna acelaşi rezultat şi orice modificare a sarcinii electrice a unui sistem corespunde deci schimbului unui număr întreg de sarcini elementare. însă efectele de interferenţă, care apar la trecerea electronilor prin cristale, sînt incompatibile cu concepţia mecanică asupra mişcării particulelor. Situaţii similare întîlnim în binecunoscuta dilemă asupra naturii luminii. Acolo fenomenele optice cereau utilizarea noţiunii de propagare a undei, pe cînd legile transferului de impuls şi energie la fotoefectele atomice se refereau la ideea mecanică de particule.

Această nouă situaţie în fizică a cerut o reactualizare a preocupărilor asupra aplicării noţiunilor utilizate la orientarea în mediul înconjurător. Desigur că în fizica atomică noi ne păstrăm libertatea de a pune întrebări naturii prin experienţe. însă va trebui să recunoaştem că toate condiţiile experimentale, care pot fi variate pe diferite căi sînt definite numai prin corpuri atît de grele, încît în descrierea funcţiilor lor să putem neglija cuanta de acţiune. Informaţiile referitoare la obiectele atomice constau numai din urmele pe care ele pot să le lase pe aceste instrumente de măsură, ca de exemplu, o urmă produsă de ciocnirea unui electron pe o placă fotografică aşezată într-un anumit dispozitiv experimental. Faptul că astfel de urme se datoresc unor efecte de amplificare ireversibile constituie o caracteristică ce indică ireversibilitatea în principiu a însăşi noţiunii de observaţie.

Situaţia specială din fizica cuantică este legată, înainte de toate, de faptul că informaţia dobîndită asupra obiectelor atomice nu poate fi înţeleasă pe baza schemelor trasate de concepţia mecanicistă asupra naturii. De altfel, faptul că într-unul şi acelaşi dispozitiv experimental putem face observaţii care corespund la diferite procese cuantice individuale, implică o limitare de

principiu a modului determinist de descriere. Cerinţa unei divizibili- tăţi fără restricţii, pe care se bazează fizica clasică, este în mod evident incompatibilă cu trăsătura de completitudine, caracteristică fenomenelor cuantice. Conform acesteia, orice subdiviziune care se poate defini cere o schimbare a aranjamentului experimental, ducînd astfel la no efecte individuale.

Pentru a caracteriza relaţia dintre fenomenele observate în condiţii experimentale diferite a fost introdus termenul de complementaritate. El subliniază că astfel de fenomene, luate în ansamblu, epuizează toată informaţia asupra obiectelor atomice. Departe de a conţine o renunţare arbitrară la explicaţia fizică obişnuită, noţiunea de complementaritate se referă direct la poziţia noastră de observatori, într-un domeniu experimental în care aplicarea univocă a noţiunilor folosite pentru descrierea fenomenelor, depinde esenţial de condiţiile de observare. Printr-o generalizare matematică a sistemului de noţiuni al fizicii clasice, s-a reuşit să se dezvolte un formalism în care cuanta de acţiune a fost încorporată în mod logic.

Acest formalism aşa-numit „mecanică cuantică[1-], are drept scop să formuleze legile statistice valabile pentru rezultatele experimentale obţinute în condiţii de observare bine definite. Descrierea astfel obţinută este în principiu completă, deoarece s-au păstrat ideile mecanicii clasice, în măsura în care se pot cuprinde toate variaţiile ce pot fi definite, ale condiţiilor experimentale.

Caracterul complementar al descrierii fenomenelor cu ajutorul mecanicii cuantice apare clar în descrierea compoziţiei şi reacţiilor sistemelor atomice. Astfel, legile referitoare la stările energetice ale atomilor şi moleculelor, care determină spectrele caracteristice ale elementelor şi legăturilor de valenţă ale combinaţiilor chimice, apar numai atunci cînd controlul asupra poziţiei electronilor din
interiorul atomului şi moleculei este exclus. In

legătură cu aceasta, este interesant de notat că aplicarea cu succes a formulelor de structură din chimie se bazează pe faptul că nucleele sînt mult mai grele decît electronii. De asemenea, legile mecanicii cuantice sînt hotărîtoare şi în ceea ce priveşte stabilitatea şi transmutaţiile nucleelor atomice.

Numai într-o descriere complementară, care depăşeşte cadrul concepţiei mecaniciste asupra naturii, este posibil să-şi găsească locul legile fundamentale care determină proprietăţile substanţelor din care sînt făcute atît instrumentele cît şi corpurile studiate.

După cum se ştie, progresul realizat în domeniul fizicii atomice a găsit largi aplicaţii în biologie. In particular, aş putea menţiona faptul că una dintre aceste aplicaţii ne-a permis să înţelegem stabilitatea deosebită a acelor structuri chimice din celulă, pe care se bazează ereditatea speciilor. Totodată ele permit şi explicarea legilor statistice care guvernează apariţia mutaţiilor produse prin expunerea organismului la diferiţi agenţi fizici. De altfel, efectele de amplificare, analoge celor care fac posibilă observarea particulelor atomice individuale, joacă un rol hotă- rîtor în multe din funcţiile organismului. Acestea subliniază caracterul ireversibil al fenomenelor tipic biologice. Sensul scurgerii timpului, necesar pentru a putea descrie fenomenele, este şi mai bine marcat de faptul că experienţa acumulată este utilizată pentru reacţii la acţiunea unor stimuli care vor apărea în viitor.

Această dezvoltare promiţătoare reprezintă o extindere foarte semnificativă şi practic nelimitată a posibilităţilor de aplicare la problemele biologice a rezultatelor obţinute în fizica şi chimia pură. După cum însă mecanica cuantică este o generalizare logică a fizicii clasice, s-ar putea spune despre acest mod de abordare că este mecanicist. Problema care se pune este : în ce măsură acest progres a înlăturat baza utilizării argumentelor finaliste din biologie ?

Nu trebuie să uităm că fenomenele cuantice, a căror descriere şi sinteză formează un tot coerent, nu prezintă nici o trăsătură care ar indica că un ansamblu organizat de atomi ar putea fi capabil să se adapteze la mediu, aşa :um observăm în evoluţia şi conservarea organismelor. Ar fi de notat faptul că o descriere exhaustivă, în sensul mecanicii cuantice, a tuturor atomilor care se schimbă continuu în organism nu este numai irealizabilă în mod practic, ci evident, ar cere şi condiţii de observaţie incompatibile cu desfăşurarea vieţii.

învăţămintele pe care le-am tras în legătură cu rolul pe care îl joacă instrumentele de observaţie în definirea noţiunilor fizice elementare, ne dau totuşi cheia pentru o aplicare logică a unor noţiuni străine de fizică, cum este de exemplu, finalitatea, care se utilizează direct la descrierea fenomenelor organice. într-adevăr, pe această bază este evident că atît atitudinea mecanicistă cît şi cea finalistă nu prezintă puncte de vedere contradictorii în biologie. Ele mai curînd subliniază faptul că există două tipuri de condiţii de observare, care se exclud reciproc şi care sînt la fel de indispensabile atunci cînd se urmăreşte o descriere mai completă a vieţii organice. Desigur, nu este vorba aici de a explica viaţa în modul în care fizica clasică explică funcţionarea construcţiilor mecanice simple sau a calculatoarelor electronice complexe. Este vorba de a împinge mai departe această analiză a condiţiilor de bază şi a posibilităţilor noţiunilor noastre ca mijloace de comunicare, analiză care a devenit atît de caracteristică pentru noua dezvoltare a fizicii.

Oricare ar fi diferenţele între condiţiile lor de observare, nici comunicarea rezultatelor obţinute în biologie, nici descrierea experienţelor de fizică, nu fac aluzie la un observator subiectiv. Pînă acum nu a fost necesar să intrăm mai adînc în problema condiţiilor de observare caracteristice pentru fenomenele psihologice pentru care nu putem lua

ca bază sistemul de noţiuni pe care l-am dezvoltat pentru a ne orienta în natura neînsufleţită. Deoarece însă toate experienţele noastre conştiente rămîn fixate în memorie şi prin urmare trebuie să admitem că acest lucru se bazează pe modificări permanente ale organismului, sîntem conduşi în mod natural să comparăm experienţele psihologice cu observaţiile fizice. De asemenea, relaţiile multiple care există între experienţele conştiente prezintă trăsături care amintesc condiţiile necesare unei sinteze a experienţelor din fizica atomică. Vocabularul bogat pe care îl folosim pentru comunicarea stărilor noastre sufleteşti este un semn evident al unui mod de descriere tipic complementar, corespunzător unei schimbări continue a obiectului asupra căruia este concentrată atenţia noastră.

în comparaţie cu extinderea modului mecanic de descriere impus de considerarea individualităţii fenomenelor atomice, integritatea organismului şi unitatea personalităţii ne impun o generalizare mai largă a cadrului de aplicare raţională a mijloacelor noastre de comunicare. în legătură cu aceasta, este de notat că se păstrează distincţia dintre subiect şi obiect, distincţie necesară pentru o descriere univocă. în acest sens, în orice comunicare în care este vorba de noi înşine vom introduce, ca să spunem aşa, un nou subiect care nu apare ca parte în conţinutul comunicării. Este necesar să remarcăm faptul că însăşi această libertate de alegere a separării între subiect şi obiect, este aceea care creează multiplicitatea fenomenelor conştiente şi bogăţia posibilităţilor vieţii umane.

Atitudinea în faţa problemelor generale ale cunoaşterii la care ne-a condus dezvoltarea fizicii din secolul nostru diferă în mod esenţial de atitudinea faţă de astfel de probleme din vremea lui Stensen. Aceasta nu înseamnă că noi am abandonat drumul pe care l-a urmat el cu atîta succes pentru îmbogăţirea cunoştinţelor. Noi am înţeles că eforturile către frumuseţe şi armonie,

care caracterizează întreaga, operă a lui Niels Stensen, cer însă o revizuire continuă a condiţiilor de bază şi a mijloacelor noastre de comunicare.

Tabla de materii

Cuvînt înainte **5**

Prefaţă **11**

Introducere **13**

r

Lumina ţi viaţa

Expunere la şedinţa de deschidere a Congresului internaţional de terapie cu radiaţii luminoase (Copenhaga, august 1932). Apărut în „Nature" 131, 421, (1933).....15

II

Biologia ţi fizica atomicfi

Expunere la Congresul de fizică şi biologie în memoria lui Luigi Galvani (Bologna, octombrie, 1937)..... 26

III

Filozofia naturii ţi culturile umane

Expunere la Congresul internaţional de ştiinţe antropologice şi etnologice (Copenhaga), ţinută la o întrunire din castelul Kronborg, Elsinore, august 1938. Apărut în „Nature* 143, 268, (1939).....

Convorbiri cu Einstein asupra problemelor epistemologice din fizica atomică

Contribuţie la cartea *Albert Einstein: Om de ştiinfă-Filozof.* Biblioteca filozofilor în viaţă, Evanston, Illinois, voi. 7, 1949, p. 199.....J7

Unitatea cunoaşterii

Expunere la o conferinţă în legătură cu bicentenarul Universităţii Columbia, New York (octombrie, 1954). Apărut în *Unitatea cunoaşterii,* Doubleday and Co., New York, 1955, p. 47 90

VI

Atomii ţi cunoaşterea umană

Expunere la o întrunire a Academiei Regale Daneze de Ştiinţe (Copenhaga, octombrie, 1955) 109

VII

Fizica ţi problema vieţii

Articol completat în 1957 şi bazat pe o prelegere ţinută la Societatea Medicală Daneză (Copenhaga, februarie, 1949)

[22

Redactor : DINU IOANITIU-NECHITA
Tehnoredactor : VICTORIA STANCULESCU

Dat la cules 21.IX.196S, Bun da tipar 14.04.1969. Apărut 1969. Tiraj 3800 + 140 ex. legate. **Hlrţie** ***scris I A de OSg/m*, Format 16/54X84. Coli editoriale 6,88. Coli tipar 8.50 A 10582/1968 Indice de*** **clasificare** ***zecimali : pentru bibliotecile mari 539, pentru bibliotecile mici 53*** **intreprinderea Poligrafică Informaţia Republica Socialistă România Comandă nr. 402**